

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій**

**БЕЗПЕКА  
ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ВИРОБНИЦТВ**

**Курс лекцій**

**Харків 2023**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

**Кафедра пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій**

**БЕЗПЕКА  
ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ВИРОБНИЦТВ**

**Курс лекцій**

**Харків 2023**

Друкується за рішенням кафедри пожежної  
і техногенної безпеки об'єктів та технологій  
НУЦЗ України  
(протокол від від 23.10.2023 № 3)

**Укладачі:** В. В. Олійник, Н. В. Саєнко

**Рецензенти:** доцент, кандидат технічних наук **Н. О. Косенко**, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова;  
кандидат технічних наук, доцент, **О. М. Роянов**, старший викладач кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗУ.

**Безпека** потенційно небезпечних технологій та виробництв: курс лекцій. Для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія «Радіаційний та хімічний захист» денної та заочної форми навчання. Освітній ступінь «бакалавр» / Укладачі: В. В. Олійник, Н. В. Саєнко. – НУЦЗ України, 2023. – 203 с.

Курс лекцій з дисципліни «Безпека потенційно небезпечних технологій та виробництв» призначений для ознайомлення здобувачів вищої освіти за освітнім ступенем «бакалавр» за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія «Радіаційний та хімічний захист» з найбільш небезпечними сучасними технологіями виробництва та їх особливостями, методиками ідентифікації небезпек на виробництві, вимогами до систем захисту об'єктів та технологій підвищеної небезпеки.

Знання, отримані під час вивчення навчальної дисципліни «Безпека потенційно небезпечних технологій та виробництв», надають уміння і навичок щодо оцінки та попередження пожежовибухонебезпеці технологічних апаратів, процесів, устаткування та виробництв.

© Олійник В. В., Саєнко Н. В., 2023  
©НУЦЗУ, 2023

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
Лекція 1. Основи технології, процесів та апаратів небезпечних виробництв. Технологічні терміни та визначення.....	7
1.1 Загальні поняття про основи технології, процесів та апаратів небезпечних виробництв. Терміни і визначення в технологічних процесах.....	7
1.2 Класифікація основних технологічних процесів та апаратів.....	9
1.3 Фізико-хімічні закономірності в технології.....	15
Питання для самоконтролю.....	20
Лекція 2. Класифікація об'єктів господарювання за видами небезпек. Поняття та визначення.....	21
2.1 Основи класифікації надзвичайних ситуації техногенного характеру. Нормативно-правове забезпечення.....	21
2.2 Класифікація суб'єктів господарювання за видами небезпеки. Нормативно-правове забезпечення.....	27
2.3 Критерії оцінки ступеню ризику від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки.....	28
Питання для самоконтролю.....	29
Лекція 3. Класифікація надзвичайних ситуацій за видами небезпеки. Оцінка небезпеки підприємств від провадження господарської діяльності.....	31
3.1 Класифікація надзвичайних ситуацій за видами небезпек. Нормативні положення.....	31
3.2 Оцінка небезпеки підприємств від провадження господарської діяльності.....	37
Питання для самоконтролю.....	39
Лекція 4. Методика ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки.....	40
4.1 Ідентифікація. Процедура та основні терміни.....	40
4.2 Етапи ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки.....	41
4.3 Методика ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки.....	42
Питання для самоконтролю.....	47
Лекція 5. Категорування приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою.....	49
5.1 Категорування приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою.....	49
5.2 Роль та значення системи класифікації приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.....	51
5.3 Вибір та обґрунтування розрахункового варіанту. Розрахунок надлишкового тиску вибуху.....	53
5.3.1 Розрахунок надлишкового тиску вибуху для горючих газів, парів легкозаймистих та горючих рідин.....	55
5.3.2 Розрахунок надлишкового тиску вибуху для горючого пилу.....	58

5.3.3 Розрахунок надлишкового тиску $\Delta P$ , що розвивається у разі займання газо-, пароповітряних сумішей .....	60
Питання для самоконтролю .....	61
Лекція 6. Визначення категорій будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою .....	62
6.1 Методика визначення категорії будівель та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою .....	62
6.2 Вибір та обґрунтування розрахункового варіанту .....	64
Питання для самоконтролю .....	71
Лекція 7. Виробничі аварії та їх класифікація .....	72
7.1 Характеристика небезпечних виробництв. Причини та види пошкодження технологічного обладнання апаратів .....	72
7.2 Основні параметри, що характеризують небезпеку виробничого процесу .....	82
7.3 Інженерно-технічні заходи, що виключають пошкодження технологічного обладнання .....	83
Питання для самоконтролю .....	86
Лекція 8. Характерні аварії та їх попередження під час проведення механічних процесів .....	87
8.1 Сутність механічних процесів та технологічне обладнання для їх проведення .....	87
8.2 Характерні аварії та їх попередження під час проведення механічних процесів .....	90
Питання для самоконтролю .....	94
Лекція 9. Небезпека виникнення аварій при проведенні гідромеханічних процесів та їх попередження .....	95
9.1 Сутність гідромеханічних процесів та технологічне обладнання для їх проведення .....	95
9.2 Характерні аварії під час проведення гідромеханічних процесів .....	99
Питання для самоконтролю .....	100
Лекція 10. Небезпека виникнення аварій при проведенні теплових процесів та їх попередження .....	102
10.1 Сутність теплообмінних процесів. Технологічне обладнання .....	102
10.2 Небезпека виникнення аварій при проведенні процесів нагрівання горючих речовин теплоносіями .....	106
Питання для самоконтролю .....	111
Лекція 11. Небезпека виникнення аварій при проведенні масообмінних процесів та їх попередження .....	112
11.1 Сутність, закономірності й основні поняття масообмінних процесів .....	112
11.2 Сутність абсорбційних процесів .....	114
11.3 Небезпека проведення масообмінних процесів .....	116
Питання для самоконтролю .....	120

Лекція 12. Небезпека виникнення аварій при проведенні хімічних процесів та їх попередження .....	121
12.1 Основні хімічні процеси та апарати.....	121
12.2 Причини виникнення аварій під час проведення хімічних процесів.....	126
Питання для самоконтролю .....	131
Лекція 13. План локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків .....	132
13.1 Загальні положення щодо розроблення планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків .....	132
13.2 Основні вимоги щодо розроблення, затвердження та впровадження планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків.....	134
13.3 Складові планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків, їх загальна характеристика .....	139
Питання для самоконтролю .....	142
Лекція 14. Оцінка безпеки нафтопереробних підприємств .....	143
14.1 Основи технології нафтопереробки .....	143
14.2 Загальна оцінка безпеки нафтопереробних заводів .....	147
Питання для самоконтролю .....	149
Лекція 15. Безпека складів нафти та нафтопродуктів .....	150
15.1 Загальна характеристика складів нафти і нафтопродуктів.....	150
15.2 Пожежна небезпека при зберіганні легкозаймистих і горючих рідин .....	157
Питання для самоконтролю .....	162
Лекція 16. Техногенна безпека виробництва пластмас та хімічних волокон .....	163
16.1 Загальна характеристика пластичних мас .....	163
16.2 Виробництво поліетилену методом високого тиску.....	165
16.3 Класифікація хімічних волокон і способи їх одержання.....	168
16.4 Техногенна небезпека виробництва віскозного волокна.....	172
Питання для самоконтролю .....	176
Лекція 17. Техногенна безпека коксохімічних заводів .....	177
17.1 Основи технології коксохімічного виробництва.....	177
17.2 Загальна оцінка безпеки коксохімічних заводів.....	183
Питання для самоконтролю .....	187
Лекція 18. Безпека теплових та атомних електростанцій .....	188
18.1 Особливості технологічного процесу виробництва електроенергії на теплових станціях .....	188
18.2 Особливості технологічного процесу виробництва електроенергії на атомних електростанціях .....	191
18.3 Небезпека теплових електростанцій і атомних електростанцій та їх захист .....	198
Питання для самоконтролю .....	202

## ВСТУП

Програма вивчення навчальної дисципліни «Безпека потенційно небезпечних технологій та виробництв» складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія «Радіаційний та хімічний захист».

**Метою викладання** навчальної дисципліни «Безпека потенційно небезпечних технологій та виробництв» є формування достатнього рівня знань та умінь в галузі техногенної безпеки об'єктів та технологій підвищеної небезпеки.

Навчальна дисципліна «Безпека потенційно небезпечних технологій та виробництв» ознайомлює здобувачів вищої освіти з найбільш небезпечними сучасними технологіями та їх особливостями: методикам ідентифікації небезпек на виробництві, системам захисту об'єктів підвищеної небезпеки та виробництв, з використанням фундаментальних законів фізики, хімії, термодинаміки, механіки. Вивчення дисципліни проводиться після опанування дисциплін: фізика, хімія, безпеки радіаційного, хімічного, та біологічного походження, теорія горіння та вибуху, процеси та апарати хімічних виробництв, загальна хімічна технологія, контроль та керування хіміко-технологічними процесами, інструментальні методи хімічного аналізу, основи проектування хімічних виробництв.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі вищої освіти **повинні знати та вміти:**

- прогнозувати та оцінювати рівень техногенної небезпеки при виникненні аварійної ситуації чи аварії; виконувати ідентифікацію об'єктів підвищеної небезпеки. Розробляти основні напрямки забезпечення техногенної безпеки об'єктів та технологій;
- проводити розрахунки для оцінювання можливостей виникнення і розвитку надзвичайних ситуацій техногенного характеру за участю небезпечних речовин та матеріалів радіаційного, хімічного та біологічного походження;
- оцінювати відповідність технологічних процесів вимогам техногенної безпеки, розробки та обґрунтування заходів, спрямованих на усунення порушень;
- використовуючи технологічний регламент та технологічну схему виробництва, оцінити пожежовибухонебезпеку процесів, виробництв, а також рівень їх протипожежного захисту;
- робити висновки про ступінь пожежної небезпеки технологічного процесу, виробництва;
- розробляти заходи пожежної безпеки з використанням інженерних розрахунків;
- перевіряти протипожежний стан об'єктів;
- обґрунтувати запропоновані протипожежні заходи у відповідності з вимогами нормативних документів.

# ЛЕКЦІЯ 1

## ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЦТВ. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

### ПЛАН

- 1.1 Загальні поняття про основи технології, процесів та апаратів небезпечних виробництв. Терміни і визначення в технологічних процесах.
- 1.2 Класифікація основних технологічних процесів та апаратів.
- 1.3 Фізико-хімічні закономірності в технології.

### **1.1 Загальні поняття про основи технології, процесів та апаратів небезпечних виробництв. Терміни і визначення в технологічних процесах**

Безперервна інтенсифікація та розширення масштабів господарчої діяльності людини, що супроводжується некерованим ростом виробництва та порушенням екології, приводить до все більш частого виникнення природних та техногенних ситуацій, що характеризуються різким відхиленням від норм різних явищ та процесів. Вони призводять до виникнення стихійних лих, катастроф та аварій з численними людськими жертвами, великими матеріальними втратами та порушеннями умов життєдіяльності. Попередження надзвичайних ситуацій (НС), що викликані вказаними явищами, є актуальною проблемою сучасності. Вміння прогнозувати наслідки техногенних аварій та катастроф дозволяє скоротити число загиблих, зберегти здоров'я потерпілим, зменшити матеріальні втрати.

Якісні зміни технологій промислових об'єктів, у зв'язку з їхнім перепрофілюванням, на сучасному етапі розвитку нашої країни, нерідко призводять і до істотного підвищення рівня охорони праці на виробництві. Також необхідно пам'ятати, що зношеність технологічного устаткування на деяких об'єктах досягає 60-90 %.

Вироби, отримані в процесі перероблення сировини, назвали продукцією (лат. «production» від «produco» – виробляю). А процес виготовлення потрібних речей стали називати технологією.

Термін «технологія» походить від двох грецьких слів – «технос», що означає «майстерність», «ремесло» та «логос» – слово, вчення, наука, знання. Отже, дослівно технологія – це знання ремесла або наука про ремесла.

Технологією називають науку про отримання сировини та виготовлення з неї певної продукції.

Переробляти сировину на продукцію можна різними способами. Кожен спосіб – це окрема технологія, за якою виробляють певний вид продукції.

Один і той же вид продукції можна отримати різними способами, тобто за різними технологіями. Наприклад, бензин можна отримати дистиляцією нафти і каталічним крекінгом нафтопродуктів.

У сучасних технологіях широко використовують наукові досягнення механіки, хімії, фізики, теплотехніки, електротехніки та інших наук. У наш



час технологія стала обширною галуззю знань – вона вивчає та розробляє промислові способи отримання різних видів продукції. Кожне підприємство випускає продукцію за певною технологією. Так, технологія виготовлення продуктів харчування вивчає способи зберігання та перероблення фруктів, овочів, зерна, з метою їх збереження та надання певних властивостей. Технологія обробки металів, сплавів та інших конструкційних матеріалів різанням вивчає та розробляє способи оброблення їх на різальних верстатах. Вибір технології залежить не лише від виду сировини та продукції, яку виробляють на підприємстві, а й від її кількості. Наприклад, комбайн, автомобіль чи іншу машину можна скласти з окремих деталей у складальному цеху невеликої площі. Коли йдеться про сотні тисяч комбайнів, автомобілів та інших машин на рік, то необхідно створити потужні конвеєрні лінії, до яких з усіх цехів у певній послідовності надходять деталі та вузли.

*Виробництвом* називають процес, у ході якого людина діє на речовини природного або штучного походження за допомогою власних сил та обладнання, з метою виготовлення продукції, необхідної для забезпечення своїх потреб. Виробництвом називають і місце вироблення продукції. Наприклад, фабрика, копальня, цех, дільниця тощо. Отже, підприємство є складною виробничою системою, яка призначена для виготовлення певного виду продукції, а отримання кожного виду продукції є результатом певного виробничого процесу.

*До складу виробничого процесу* входить виготовлення проміжної та готової продукції. А це належить до технологічного процесу. Отже, технологічний процес є складовою частиною виробничого процесу і представляє собою послідовний набір операцій, в ході кожної з яких із сировини отримують проміжну або готову продукцію з певними властивостями.

*Технологічною операцією* називають закінчену частину технологічного процесу, яку виконують на одному робочому місці один або кілька працівників (робітників) над одним або кількома об'єктами, які одночасно обробляються.

У ході цих операцій може змінюватись форма, розміри і властивості сировини. Внаслідок цих змін сировина перетворюється на напів- або готову продукцію.

Кожний технологічний процес складається з дрібніших технологічних процесів або є частиною більш складного процесу. Наприклад, технологічний процес складання автомобільного двигуна, з одного боку, можна поділити на дрібніші, які відрізняються один від одного: технологічні процеси складання шатунно-поршневої групи, блоку циліндрів або коробки змінних швидкостей; з іншого боку, технологічний процес складання двигуна є частиною технологічного процесу складання автомобіля в цілому.

Технологічний процес має складну структуру і опис його супроводжується специфічними термінами, значення яких необхідно розуміти і знати (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Терміни і визначення в технологічних процесах

Термін	Визначення	Приклад
Технологічна система	Сукупність апаратів (агрегатів, машин), які залежать один від одного і діють як одне ціле і в яких здійснюється певна послідовність технологічних операцій (підготовка сировини, перетворення сировини на кінцеві та побічні продукти).	Технологічна система нафтопереробного заводу.
Технологічний об'єкт	Це частина технологічної системи, що містить об'єднану територіально і пов'язану технологічними потоками групу апаратів.	Атмосферно-вакуумна трубчатка нафтопереробного заводу.
Технологічний блок	Апарат або група апаратів (з мінімальною кількістю), що у заданий час можуть бути відключені (ізолювані) від технологічної системи без небезпечних змін режиму в суміжній апаратурі або системі.	Трубчаста піч, що використовується на нафтопереробному заводі для нагрівання нафти.

Технологічні процеси постійно вдосконалюються. Це зумовлено тим, що продукцію, яку виробляють на підприємстві, періодично вдосконалюють. Крім того, наука, техніка та технологія пропонують нові, ефективніші способи обробки та переробки сировини, нове, продуктивніше та/або потужніше обладнання і інструменти.

## 1.2 Класифікація основних технологічних процесів та апаратів

Технологічні процеси класифікуються за:

- властивостями сировини, які змінюються в процесі її переробки;
- агрегатним станом сировини;
- тепловим ефектом;
- напрямом руху сировинних і теплових потоків у агрегатах;
- способом організації процесу;
- кратністю обробки сировини;
- основними технологічними рушіями тощо.

Таке групування технологічних процесів дає можливість виявити їх характерні ознаки, загальні закономірності, переваги та недоліки, а також шляхи удосконалення.

Розглянемо коротко деякі групи технологічних процесів у відповідності до їх класифікації.

*За властивостями сировини*, які змінюються в процесі її переробки, всі технологічні процеси поділяють на фізичні, механічні та хімічні. Такий розподіл дещо умовний, оскільки не можна провести між ними чіткої межі. Проте він існує, оскільки полегшує вибір найефективнішого способу переробки сировини на відповідну напів- або готову продукцію.

*Фізико-механічними* називають такі технологічні процеси, в ході яких змінюються лише форма та фізико-механічні властивості сировини.

На цих процесах ґрунтується видобувна промисловість (за винятком деяких геотехнологічних способів видобування корисних копалин), деревооб-

робна промисловість, виготовлення з конструкційних матеріалів виробів литтям, тиском, різанням тощо. Ці процеси лежать в основі підготовки сировини до переробки, а також в основі розділення отриманої продукції на основну і побічну та відходи.

До фізико-механічних процесів належать подрібнення, тепло- та масо-перенесення.

*Хімічними* називають такі технологічні процеси, в ході яких змінюється хімічний склад і внутрішня будова речовини (сировини).

Ці зміни відбуваються внаслідок хімічних реакцій між складовими сировини. Унаслідок хімічних реакцій утворюється основна та побічна продукція, а також відходи. Утворення побічної продукції та відходів зумовлено наявністю у сировині домішок. Наприклад, у процесі виробництва чавуну відбуваються хімічні реакції між сполуками заліза та інших хімічних елементів, які є у залізній руді, з одного боку і оксидом вуглецю ( $CO$ ), воднем ( $H_2$ ), розжареним коксом ( $C$ ) і  $CaCO_3$  – з іншого. Унаслідок цих реакцій утворюються чавун, шлак і доменний газ.

*За агрегатним станом* складових сировини технологічні процеси поділяють на гомогенні та гетерогенні.

*Гомогенними* називають такі технологічні процеси, у яких всі реагуючі речовини перебувають лише в одному агрегатному стані: твердому, рідинному чи газоподібному.

Наприклад, окислення діоксиду сірки: реагуючі речовини (діоксид сірки і кисень) перебувають у газоподібному стані.

*Гетерогенними* процесами називають такі технологічні процеси, коли всі реагуючі речовини перебувають у різних агрегатних станах: газоподібному і рідинному, твердому і рідинному, твердому і газоподібному тощо.

Наприклад, виробництво сірчаної кислоти: реагуючі речовини перебувають у виді газу і рідини.

*За тепловим ефектом* технологічні процеси поділяють на екзотермічні та ендотермічні.

*Екзотермічними* процесами називають такі технологічні процеси, коли у випадку взаємодії реагуючих речовин виділяється теплота (+Q).

*Ендотермічними* процесами називають такі технологічні процеси, коли у випадку взаємодії реагуючих речовин поглинається теплота (-Q).

Слід відмітити, що при здійсненні екзотермічних процесів необхідно охолоджувати апарати, а при проведенні ендотермічних процесів – навпаки, необхідно підводити теплоту в зону реакції. Це пов'язано з ускладненням технологічної схеми, що вимагає надійних систем контролю за процесами.

*За способом організації процесу* усі технологічні процеси поділяють на періодичні, безперервні та комбіновані.

У періодичних процесах сировину подають в агрегат визначеними порціями через певні проміжки часу і так само після закінчення перероблення сировини виводять з агрегату продукцію.

Для періодичних процесів властивою є зупинка агрегатів під час завантаження сировиною та вивантаження отриманої продукції. Це призводить до втрат робочого часу та великих затрат праці. Крім того нестабільність техно-

логічного режиму (температура, тиск, тощо) на початку і в кінці процесу ускладнює обслуговування агрегату, затрудняє його автоматизацію, тощо.

При безперервних процесах сировина надходить до агрегату постійним безперервним потоком, і після перетворення запланована продукція безперервним потоком виходить з агрегату. Так триває увесь час роботи агрегату, включаючи зупинки, вимушені і планові (технічний огляд, плановий або аварійний ремонт, тощо).

Безперервні процеси, порівняно з періодичними, мають такі переваги:

- відсутність простою агрегатів на завантаження сировини і вивантаження готової продукції;
- стабільність технологічного режиму;
- велика продуктивність агрегату;
- можливість впровадження автоматизації, що поліпшує техніко-економічні показники та якість продукції, тощо.

Більш пожежонебезпечними є технологічні процеси при пуску та зупинці апаратів, оскільки відкривання їх сприяє надходженню кисню повітря до апарата та утворенню в ньому горючих сумішей.

Комбіновані процеси – це поєднання періодичних і безперервних процесів. У комбінованих процесах можна періодично подавати сировину до агрегату і безперервно виводити з нього продукцію або навпаки – безперервно подавати до агрегату сировину, а періодично виводити отриману продукцію. Можливий і такий варіант: періодичне подавання до агрегату однієї складової сировини і безперервне – другої. Отримана продукція виходить з агрегату безперервно.

Періодичні процеси протікають у нестационарних режимах, тому їх складніше автоматизувати. Безперервні процеси при пуску і зупинці є більш пожежонебезпечними, ніж у період сталого режиму роботи.

*За видом рушійної сили технологічні процеси класифікуються на:*

– гідравлічні процеси (перекачування, транспортування, зберігання, дозування) (рис.1.1). Рушійною силою гідравлічних процесів є різниця тисків. Швидкість протікання процесів визначається законами гідравліки та гідродинаміки. Основні апарати: насоси, компресори, тощо (рис.1.2);

– теплові процеси (нагрівання, охолодження, випаровування, конденсація, плавлення), які пов'язані з передачею тепла від одного тіла до іншого (рис.1.1). Рушійною силою теплових процесів є різниця температур і описуються вони законами теплопередачі. Здійснюються теплові процеси за допомогою теплообмінних апаратів, трубчастих печей тощо (рис. 1.2);

– масообмінні (дифузійні) процеси (сорбція, фарбування, сушіння, перегонка), що описуються законами масопередачі. Рушійною силою процесів масообміну є різниця концентрацій. Основні апарати: абсорбери, адсорбери.

– хімічні процеси, що пов'язані з перетворенням оброблюваних матеріалів для одержання нових сполук (екзотермічні – із виділенням тепла та ендотермічні – із поглинанням тепла) і описуються законами хімічної кінетики (рис.1.1). Рушійною силою хімічних процесів є різниця концентрацій речовин, що реагують. Основні апарати – хімічні реактори.

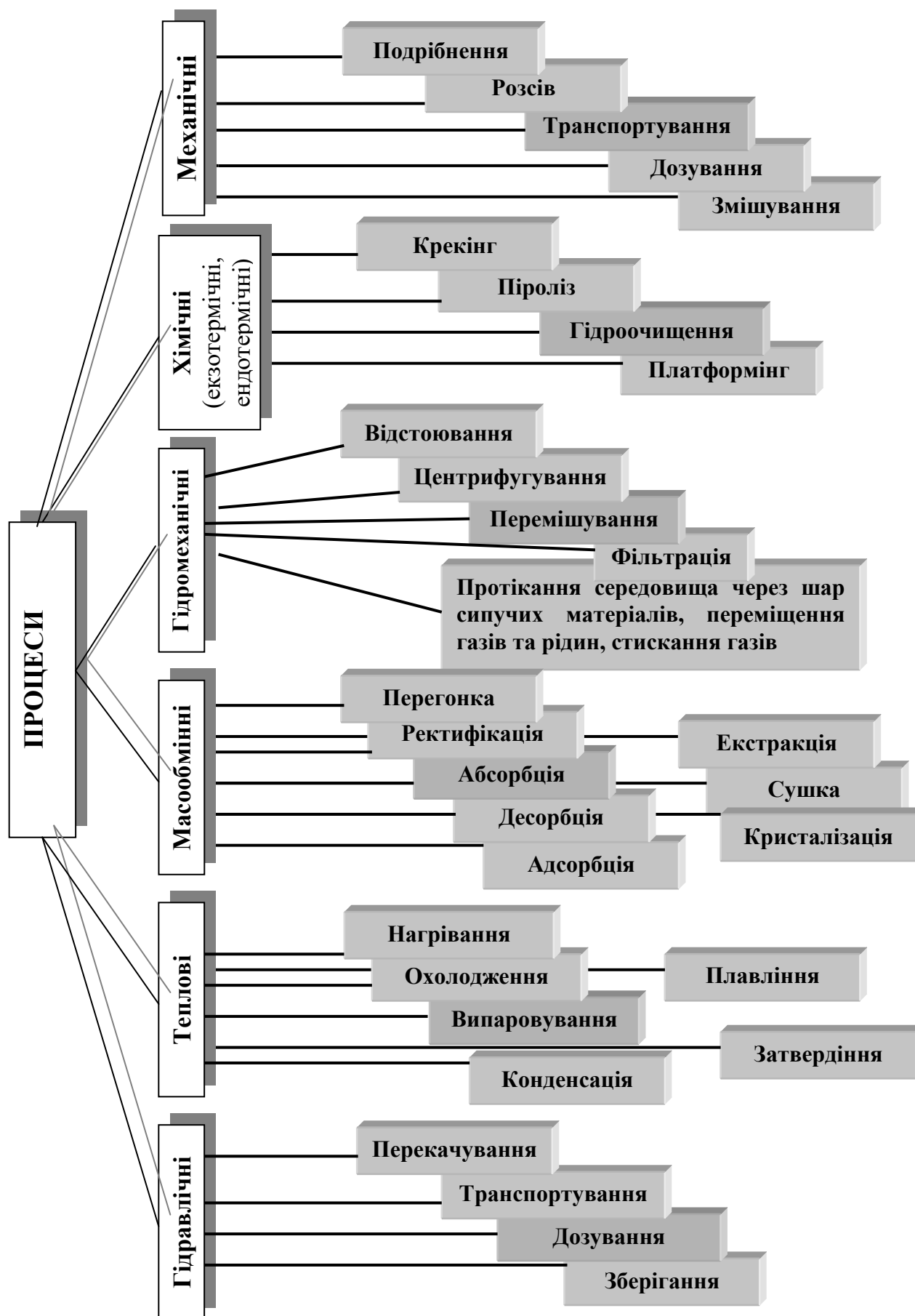


Рисунок 1.1 – Класифікація типових технологічних процесів [2]

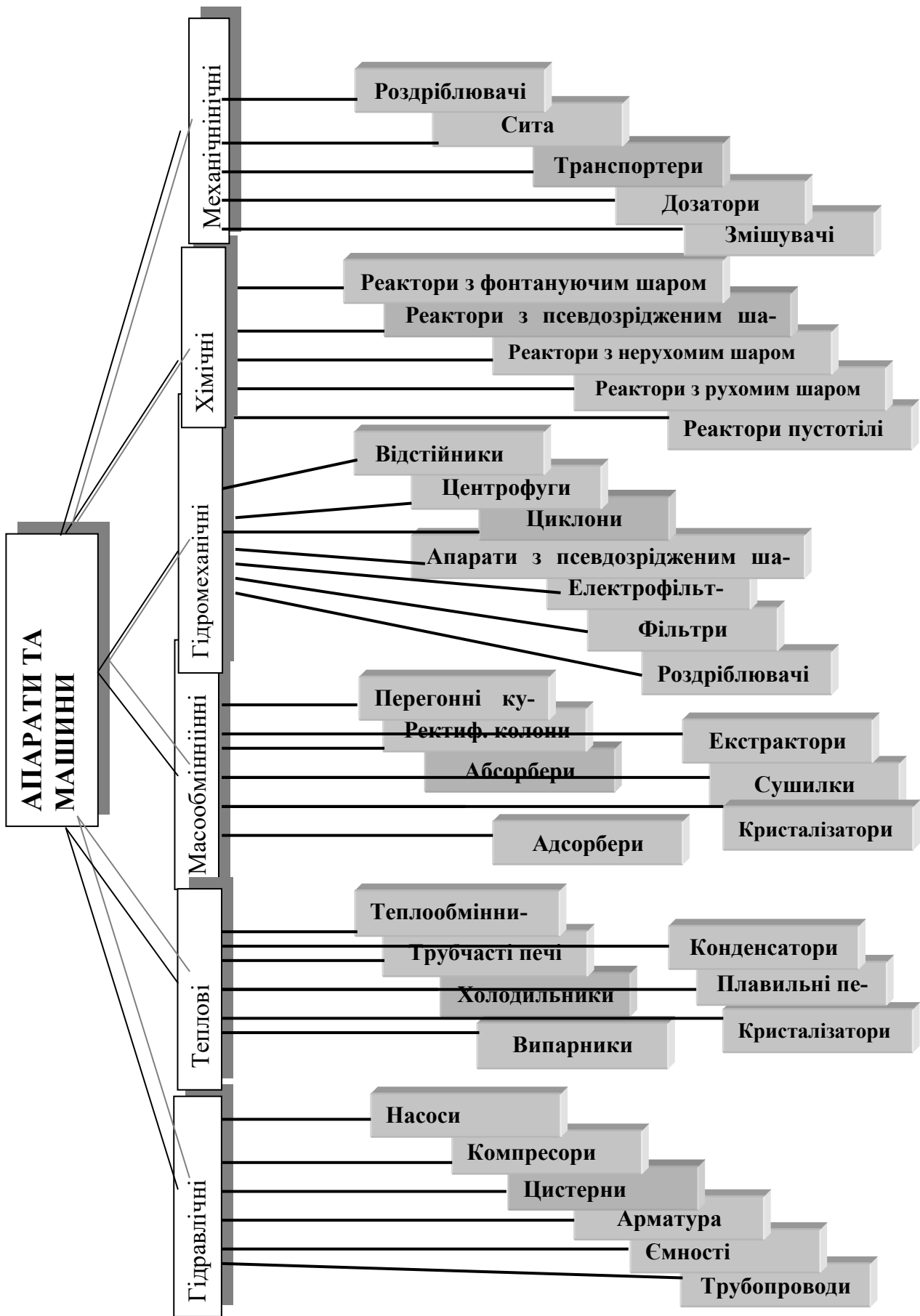
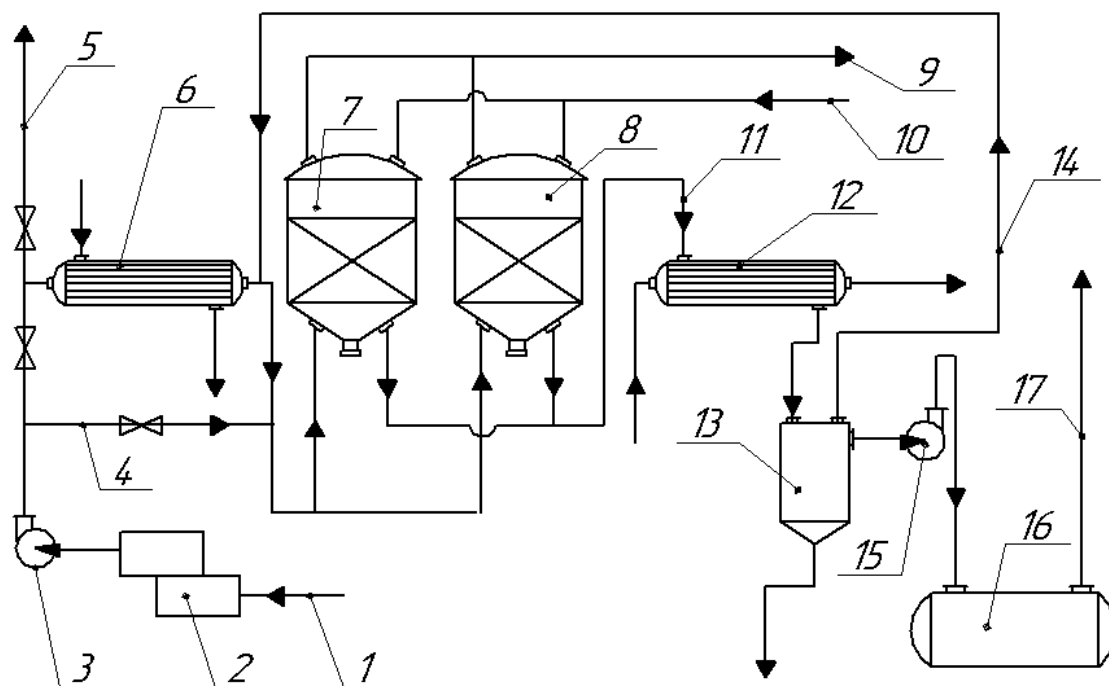


Рисунок 1.2 – Класифікація апаратів для проведення типових процесів [2]

Спеціаліст у першу чергу повинен вивчити основні технологічні процеси (операції) і роботу технологічного обладнання в такому обсязі, щоб мати можливість оцінити їхню пожежну небезпеку. Основними джерелами інформації про технологічні процеси виробництва є технологічна частина проекту (на стадії проектування виробництва) і технологічний регламент (на стадії експлуатації виробництва).

*Технологічна схема* – послідовність технологічних операцій (процесів) з перетворення сировини на готову продукцію. Існує повна (детальна) технологічна схема та принципова (рис. 1.3).

Повна технологічна схема – докладне графічне зображення та опис технологічного процесу, включаючи всі операції, апарати, резервне обладнання, контрольно-вимірювальні прилади й автоматику, захисні пристрої, системи регенерації тепла і речовин, резервну обв'язку трубопроводами тощо. Повна технологічна схема необхідна при детальному вивченні технології, але вона не дуже зручна при первинному вивченні технологічного процесу, тому що сутність процесу губиться в подробицях.



**Рисунок 1.3 – Схема технологічного процесу уловлювання парів ЛЗР із пароповітряної суміші методом адсорбції**

При первинному вивченні виробництва краще працювати з принциповою технологічною схемою.

Принципова технологічна схема містить наступну інформацію:

- послідовність технологічних операцій (нагрівання, охолодження, фарбування, сушіння, хімічні реакції тощо);
- основне технологічне обладнання (теплообмінні апарати, ректифікаційні колони, насоси, компресори тощо) без указки кількості однотипних апаратів;

- норми технологічного режиму (тиск, температура, концентрація тощо);
- місця вводу в процес сировини і допоміжних речовин і виводу з процесу готової продукції, побічних продуктів і відходів виробництва.

#### *Приклад принципової технологічної схеми*

Принципова дозволяє одержати інформацію про фізико-хімічну сутність процесів, отже, частину вихідних даних для дослідження пожежної безпеки даного виробництва.

В якості прикладу розглянемо принципову технологічну схему ректифікаційної установки (рис. 1.3), з якої визначаємо основні технологічні операції процесу: зберігання і підготовка вихідного продукту; транспортування нафтопродукту насосами; нагрівання вихідного продукту в теплообмінниках і трубчастих печах; ректифікація, відбір і зберігання кінцевого продукту. Для зручності вивчення виробництва доцільно виділити характерні ділянки із специфічними технологічними процесами й апаратами.

За основу поділу технологічної схеми на ділянки можуть бути взяті різні ознаки: стадії виробництва, технологічне обладнання, що застосовується, функціональні особливості.

Якщо при проведенні експертизи проектних матеріалів у фахівця пожежної безпеки немає принципової технологічної схеми, але є повна, рекомендується спростити цю схему до принципової. Цю роботу можуть виконати фахівці і проектною організації, і підприємства.

При розробці принципової технологічної схеми необхідно:

- показувати тільки одну з декількох однотипних технологічних ліній;
- показувати тільки одну з декількох однотипних операцій або один з декількох паралельних (або послідовних) однотипних апаратів;
- виключити резервне устаткування;
- виключити або спростити системи регенерації (утилізації) тепла;
- виключити обв'язку апаратів додатковими трубопроводами;
- виключити контрольні-вимірювальні прилади та автоматику;
- виключити всі захисні прилади й пристрої.

### **1.3 Фізико-хімічні закономірності в технології**

Для проведення будь-якого технологічного процесу необхідні речовини та матеріали, які будуть оброблятися, енергія, апарати, машини при яких проходить реалізація процесів. Під час проектування виробництва виконуються розрахунки технологічних процесів і апаратів з метою обґрунтування оптимальних розмірів обладнання, режимів його роботи, визначення витрат хімічних речовин, води, палива, електричної енергії. Технологічні розрахунки виконують на основі матеріальних та енергетичних балансів і проводяться з метою обґрунтування робочих параметрів процесів (тиску, температури, регулювання подачі матеріальних середовищ, часу перебування речовини у реакційній зоні, рівня рідини).



Під *технологічним (матеріальним) балансом* приймають результати розрахунків, наведені у вигляді таблиці, що відображає кількість введених і отриманих у виробничому процесі матеріалів. У основі складання матеріального балансу лежить закон збереження маси: маса введених у виробничий процес речовин рівна кількості отриманих цільових продуктів, проміжних сполук і відходів реакції.

*Матеріальний баланс* – це кількісне співвідношення між масами речовин, що входять в хіміко-технологічну систему, і що виходять з неї. Специфіка виробництва галузі обумовлює відмінності між вхідними та вихідними потоками не тільки по кількісному, але і по якісному складу. Тому *найважливішим елементом матеріальних розрахунків* в хімічній технології є *сумарне рівняння реакції*, на якій заснований даний хіміко-технологічний процес.

Матеріальний баланс має велике значення для:

- аналізу ефективності виробничих процесів;
- встановлення фактичного виходу продуктів і витратних коефіцієнтів;
- ухвалення організаційних і технічних рішень з удосконалень роботи устаткування;
- встановлення оптимальних потужностей і продуктивності устаткування;
- проектування нових підприємств і поліпшення роботи вже існуючих.

Величини вхідного потоку (витрата речовин в одиницю часу) можуть бути надані в мольних (моль/годину), об'ємних (м<sup>3</sup>/годину) та масових (кг/годину) одиницях.

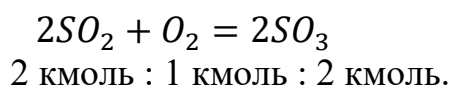
*Витрата потоку* – це швидкість проходження речовин через трубу заданого діаметра в одиницю часу. Іншими словами – це кількість (або маса, або об'єм) речовин, що поступають через заданий трубопровід у реактор в одиницю часу.

Матеріальний баланс складають за рівнянням основної сумарної реакції з урахуванням паралельних і побічних реакцій. На практиці доводиться мати справу не з чистими речовинами, а з сировиною складного хімічного і механічного складу, тому для складання матеріального балансу доводиться враховувати масу всіх компонентів. Матеріальний баланс відбиває всі кількісні зміни маси речовини, що відбуваються в перебігу процесу.

*Приклад розрахунку матеріального балансу хіміко-технологічного процесу*

Розрахувати матеріальний баланс процесу окислення сульфурю оксиду (IV) до сульфурю оксиду (VI) при ступені перетворення  $X(SO_2)=0,98$ , якщо витрата потоку складала 1000 кмоль/годину. Склад потоку в мольних частках:  $n(SO_2) = 0,07$  моль;  $n(O_2) = 0,11$  моль;  $n(SO_3) = 0,02$  моль;  $n(N_2) = 0,8$  моль.

*Розв'язання.* Ступінь перетворення показує ту частину кількості речовини від початкової, яка вступає в процес взаємодії 70 кмоль ( $SO_2$ ) – 1,  $v'(SO_2) = 0,98$ .



Згідно з рівнянням:  $v'(SO_2) = v(SO_2) \cdot X(SO_2) = 68,6$  кмоль.

Кількість речовини, яка реально бере участь в процесі, використовують в стехіометричних розрахунках: 68,6 кмоль : 34,3 кмоль : 68,6 кмоль

Ці дані заносимо в табл.1.2. Витратна частина матеріального балансу враховує різницю кількості речовин до реакції (прибуткова частина) і кількості речовин, що беруть участь у хімічному перетворенні (графа «Хімічна реакція» для  $SO_2$  і  $O_2$ ). Для продукту реакції ( $SO_3$ ) у витратній частині наведено суму цих значень.

Таблиця 1.2 – Матеріальний баланс процесу окислення оксиду сульфуру (IV)

Речовина	Мі, кг/кмоль	Прибуток				Хім. реакція, $v_i$ , кмоль	Витрати		
		$v_i = n_i$	$v_i$ , кмоль	$m_i$ , кг	$g_i$		$v_i$ , кмоль	$m_i$ , кг	$g_i$
$SO_2$	64	0,07	70	4480	0,14	-68,6	1,4	89,6	0,003
$O_2$	32	0,11	110	3520	0,11	-34,3	75,7	2422,4	0,076
$N_2$	28	0,80	800	22400	0,70	–	800,0	22400	0,70
$SO_3$	80	0,02	20	1600	0,05	68,6	88,6	7088	0,221
$\Sigma$		1	1000	32000	1		965,7	32000	1

Перевіряємо правильність розрахунку матеріального балансу:

$$32000 \text{ кг} = 32000 \text{ кг.}$$

Тепловий баланс складають на основі закону збереження енергії: кількість енергії, що входить в апарат, дорівнює кількості енергії, що виходить з апарату:

$$\Sigma Q_{\text{вх}} = \Sigma Q_{\text{вих}} \quad (1)$$

де  $\Sigma Q_{\text{вх}}$  – загальна кількість теплоти, що вноситься в апарат з усіма матеріальними потоками, а також теплота, що виділяється чи поглинається в результаті перебігу хімічної реакції чи фізичних процесів, кДж/с;

$\Sigma Q_{\text{вих}}$  – загальна кількість теплоти, що виноситься з апарату з усіма матеріальними потоками, а також втрати теплоти у довкілля, кДж/с.

Відповідно:

$$\Sigma Q_{\text{вх}} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (2)$$

$$\Sigma Q_{\text{вих}} = Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (3)$$

де  $Q_1$  – теплота, що вноситься в апарат з усіма фізичними потоками, кДж/с;

$Q_2$  – теплота, яку необхідно підвести чи відвести, кДж/с;

$Q_3$  – загальна теплота, що виділяється чи поглинається в результаті перебігу хімічних і фізичних процесів, що відбуваються в апараті, кДж/с;

$Q_4$  – теплота, що виноситься з апарату з усіма фізичними потоками, кДж/с;

$Q_5$  – втрати теплоти в довкілля, кДж/с;

$Q_6$  – теплота, що витрачається на нагрівання окремих частин апарату, кДж/с.

Кількість теплоти, яка вноситься чи відводиться з матеріальними потоками, розраховують за масою чи масовою (або мольною) витратою потоку, його складом і теплоємностями окремих компонентів. Теплоємність компонентів паро-газових потоків при температурі потоку може бути знайдена, за питомими теплоємностями речовин і теплотами їх випаровування.

Значення  $Q_1$  і  $Q_4$  можна визначити за рівняннями (4 – 6)

$$Q_{1(4)} = \sum G_i C_{pi} T_i = G_1 C_{p1} T_1 + G_2 C_{p2} T_2 + \dots + G_n C_{pn} T_n, \quad (4)$$

чи

$$Q_{1(4)} = G \sum X_i C_{pi} T_i = G (X_1 C_{p1} T_1 + X_2 C_{p2} T_2 + X_n C_{pn} T_n)$$

або

$$Q_{1(4)} = \sum F_i C_{pi, \text{мол}} T_i = F_1 C_{p1, \text{мол}} T_1 + F_n C_{pn, \text{мол}} T_n \quad (5)$$

де  $G_i$  – масова витрата і-го компоненту, кг/с;

$F_i$  – мольний потік і-го компоненту, кмоль/с;

$G$  – масова витрата потоку, кг/с;

$x_i$  – масова частка і-го компоненту в потоці;

$C_{pi}$  – питома теплоємність і-го компоненту, кДж/(кг·К);

$C_{pi, \text{мол}}$  – мольна теплоємність і-го компоненту, кДж/(кмоль·К);

$T_i$  – температура потоку, з яким поступає і-й компонент, К.

Всі технологічні процеси протікають при конкретних значеннях температур, тиску, концентрацій і інших вищесказаних параметрах. Основні фактори, які впливають на швидкість процесу, вихід, якість продукції називаються *технологічними параметрами*. Зміна рівнів технологічних параметрів часто призводить не тільки до зниження якості продукції та її кількості, але і до аварій, вибухів та пожеж на виробництві.

*Тиск – один із головних параметрів виробництва*

Надмірний внутрішній тиск, що може виникати на виробництві при порушенні технологічного режиму, при недостатньому контролі за технологічним процесом, за несправності контрольно-вимірювальних приладів та захисної автоматики.

Зміна тиску у технологічному обладнанні може виникати в результаті:

- порушення матеріального балансу;
- порушення теплового балансу;
- порушення температурного режиму апаратів;
- порушення процесу конденсації парів;

– потрапляння рідин з низькою температурою кипіння до високонагрітих апаратів.

#### *Час перебування сировини в реакційній зоні*

Ця характеристика розраховується конкретно для кожного технологічного процесу окремо. Наприклад, час перебування реагентів у проточному реакторі для ступеня перетворення за дихлоретаном 99,99 при 580 °С, який становить – 3 с. При продуктивності 2 т/год об'єм реакційної зони складає 1,3 м<sup>3</sup>.

#### *Рівень рідини*

Важливо ретельно контролювати заповнення обладнання рідиною. Особливу небезпеку представляють герметичні ємності та трубопроводи, що повністю заповнені рідиною або скрапленим газом. При заповненні таких апаратів, ємностей, балонів дуже часто виникають випадки їх переповнення. При цьому рідина займає весь об'єм апарату, і вільного парового простору в ньому немає. Оскільки рідини практично не стискаються, нагрівання їх навіть до невисоких температур викликає дуже великі внутрішні тиски, які приводять до пошкоджень та розриву стінок апаратів. На практиці є немало випадків, коли невірне заповнення бочок та цистерн рідинами, а ємностей і балонів скрапленими газами з наступним нагріванням закінчувалося аваріями. Характерними у цьому відношенні є аварії, які пов'язані з розривами стінок сферичних резервуарів з рідким газом на нафтопереробних підприємствах (через добові зміни температури навколишнього середовища).

*Приклад аварії.* На одному з нафтопереробних заводів відбулося руйнування сферичного резервуара об'ємом 600 м<sup>3</sup>, що був заповнений бутан-бутиленовою фракцією за температури повітря нижче 0°С. Всі лінії були відключені, а на місці влаштування запобіжного клапана була встановлена заглушка. До ранку температура навколишнього середовища підвищилася, що викликало сильне підвищення тиску рідини та розрив стінок резервуара. Скраплений газ, що виливався назовні, швидко випаровувався, утворюючи при цьому газову хмару, яка рухалася за вітром у бік виробничих установок. Спалахування газу відбулося від факелів полум'я форсунок трубчастих печей. В результаті цього вогнем були охоплені технологічні установки та резервуари з нафтопродуктами.

Технологічні параметри мають суттєвий вплив на протікання виробничих процесів та їхню безпеку. Цей вплив необхідно мати на увазі ще під час наукових розробок і проектуванні виробництв, при створенні нових високоефективних пожежовибухонебезпечних процесів.

**Висновок:** знання сутності технологій, процесів, апаратів дозволить спеціалісту з хімічної технології розібратись в технологічній документації і на інженерному рівні зробити висновок прогнозування основних положень щодо безпечності процесів конкретного виробництва.

### **Питання для самоконтролю**

1. Дати визначення понять: «технологія», «технологічний процес», «технологічна система», «технологічний об'єкт», «технологічний блок».
2. Як класифікуються технологічні процеси за агрегатним станом?
3. Чим відрізняється повна технологічна схема від принципової?
4. Назвати основні види технологічних розрахунків.
5. В чому полягає вплив відхилень технологічних параметрів на безпеку технологічного процесу?

### **Рекомендована література**

1. Кодекс цивільного захисту України № 5403-VI від 02.10.2012 р.  
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
2. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Харків: АЦЗУ МНС України, 2014. 374 с.

## ЛЕКЦІЯ 2

### КЛАСИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ ЗА ВИДАМИ НЕБЕЗПЕК. ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

#### ПЛАН

2.1 Основи класифікації надзвичайних ситуації техногенного характеру.

2.2 Класифікація суб'єктів господарювання за видами небезпеки. Нормативно-правове забезпечення

2.3 Критерії оцінки ступеню ризику від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки

#### **2.1 Основи класифікації надзвичайних ситуації техногенного характеру. Нормативно-правове забезпечення**

Аналіз стану техногенної безпеки в Україні свідчить про зношеність основних виробничих фондів на об'єктах економіки та господарювання, більшість з яких працює на критичній межі технологічної безпеки. В Україні функціонують 22 563 об'єктів підвищеної небезпеки, аварії на 955 із яких можуть призвести до виникнення надзвичайної ситуації державного або регіонального рівня, а також 1093 хімічно-небезпечних об'єкти, які необхідно облаштувати автоматизованими системами раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення у разі їх виникнення.

Потенційно небезпечний об'єкт вважається *об'єктом підвищеної небезпеки (ОПН)* відповідного класу у разі, коли значення сумарної маси небезпечної або декількох небезпечних речовин, що використовуються або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються на об'єкті, дорівнює або перевищує встановлений норматив порогової маси.

Найбільш техногенно небезпечними об'єктами є виробництва з обертанням, небезпечних хімічних речовин, горючих речовин і матеріалів, виробництва, пов'язані з веденням процесів при критичних параметрах (тиск, температура й ін.), зі складним апаратурним оформленням. До таких об'єктів слід віднести газо- і нафтопроводи, об'єкти хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної промисловості, склади нафти і нафтопродуктів, об'єкти енергетики, виробництва з обертанням пилю і волокон та ін.

Слід зазначити, що забезпечення безпеки промислових об'єктів є складною задачею, тому що насамперед залежить не тільки від правильної оцінки техногенної небезпеки об'єкта, але і знання характерних небезпек технологічних процесів, поглибленого їхнього аналізу, виділення найбільш небезпечних об'єктів, виходячи з особливостей розвитку галузі в цілому.

В залежності від виду небезпечних чинників ці об'єкти поділяються на:

- радіаційно небезпечні об'єкти (РНО);
- хімічно небезпечні об'єкти (ХНО);
- пожежо- та вибухонебезпечні об'єкти;
- газо-, нафто- та продуктопроводи;
- об'єкти комунального господарювання;

- гідротехнічні споруди;
- залізничний транспорт та залізничні станції.

Радіаційно небезпечні об'єкти становлять особливу небезпеку, так як людина не відчуває на собі початкову дію радіації і безпечно поводить себе в зоні радіаційного опромінення.

Хімічно небезпечні об'єкти – це об'єкти, які можуть викликати масове ураження людей і довкілля сильнодіючими отруйними речовинами (СДОР).

На території України діє понад 1200 об'єктів, на яких зосереджено понад 13,6 млн. тон твердих і рідких легкозаймистих та вибухових речовин. Крім того, до вибухонебезпечних речовин також відноситься пил, який утворюється в процесі обробки дерева, вугілля, торфу, алюмінію, борошна, льону, бавовни та зерна.

До вибухонебезпечних об'єктів відносяться також і вугільні шахти, в яких накопичується газ метан та військові склади з боєзапасом.

В комунальному господарстві України особливо критичне становище склалося у водопровідно-каналізаційній галузі, де майже четверта частина водопровідних очисних споруд і мереж водопостачання фактично відпрацювали свій термін експлуатації і зараз перебуває у аварійному стані. Скінчився термін експлуатації кожної п'ятої насосної станції.

Залізничний транспорт і залізничні станції також відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки, так як у вагонах і залізничних цистернах можуть перевозитися легкозаймісті, вибухові, отруйні та радіаційні речовини. А аварійна ситуація при перевезенні таких речовин може привести до виникнення надзвичайної ситуації. Велику небезпеку для населення та навколишнього природного середовища становить незадовільний стан гідротехнічних споруд, хвостосховищ і шламонакопичувачів, що містять відходи виробництва.

Найбільш техногенно небезпечними об'єктами є виробництва з обертанням, небезпечних хімічних речовин, горючих речовин і матеріалів, виробництва, пов'язані з веденням процесів при критичних параметрах (тиск, температура й ін.), зі складним апаратним оформленням. До таких об'єктів слід віднести газо- і нафтопроводи, об'єкти хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної промисловості, склади нафти і нафтопродуктів, об'єкти енергетики, виробництва з обертанням пилу і волокон та ін.

Хімічна промисловість пов'язана із багатьма галузями. Вона комбінується із нафтопереробною, коксуванням вугілля, чорною та кольоровою металургією, лісовою промисловістю. Завдяки складній системі зав'язків утворюються такі чи інші поєднання виробництв, із які формуються міжгалузеві комплекси. До таких комплексів належить й хіміко-лісовий. У одних випадках роль хімічної промисловості у цих комплексах провідна, в інших вона не має формуючого значення, лише доповнює усталену систему зав'язків. Проте загалом хімічну промисловість слід розглядати як головну галузь, що визначає склад й напрям розвитку комплексу. Здебільшого лісова промисловість розглядається у цьому комплексі як постачальник деревини для хімічної промисловості. Хімічна промисловість має дуже складну галузеву структуру,

що охоплює близько 200 взаємопов'язаних виробництв із великою номенклатурою продукції. Ці виробництва об'єднані у три великі групи: неорганічна чи основна хімія, хімія органічного синтезу та гірничо-хімічна промисловість.

Неорганічна хімія переважно виробляє напівфабрикати, що використовуються в інших галузях промисловості. Виняток становлять мінеральні добрива, котрі виробляє певна галузь.

До органічної хімії відносяться виробництва вуглеводної сировини, органічних напівфабрикатів, синтетичних матеріалів. Основною сировиною для хімії органічного синтезу є вуглеводні нафти, природний та попутний газ. Використовуються також вуглеводні сполуки, що одержуються із вугілля. Гірничо-хімічна промисловість утворює сировинну базу передусім для неорганічної хімії.

Розглянемо деякі хімічні галузі окремих країн світу. Хімічна промисловість розташована передусім у розвинутих країнах. Лише у США виробляється понад чверть, а у шістьох найрозвинутіших країнах – понад 3/4 хімічної продукції світу. Закономірність розвитку хімічної промисловості у США пояснюється наявністю на її території чималої кількості практично всіх видів хімічної сировини: нафти, газу, солей, фосфоритів тощо. Інші розвинуті країни значно залежать від імпорту хімічної сировини. Розвинені країни мають потужну багатогалузеву хімічну промисловість. Навпаки, у невеликих країнах розвинута переважно одна галузь. Наприклад, у Швейцарії – фармацевтична, у Нідерландах – гумовотехнічна промисловість.

Основна хімія, як галузь, обіймає кислотну, содову промисловість та виробництво мінеральних добрив. Родовища природної сірки розташовані переважно США, Канаді, Мексиці, Італії. В Україні: в Запоріжжі (кремній-органічні сполуки, синтетичні смоли), Дніпродзержинську (полівініл, полістирол), а також в Калуші, Одесі, Києві, Фастові, що виробляють хімічну продукцію й стали центрами переробки синтетичних смол на пластмасові, плівкові та інші вироби. Найбільші підприємства з виробництва хімічних волокон розміщені у Чернігові, Києві, Черкасах.

Аналіз стану і перспектив розвитку хімічної галузі дозволив виділити основні напрямки хімічного виробництва України, де необхідна стратегія промислової безпеки. Це такі потенційно небезпечні виробництва як:

- виробництво аміаку;
- мінеральних добрив (аміачна селітра, карбамід);
- пластмас;
- лаків та фарб.

Матеріалоємність та енергоємність основних хімічних виробництв у 1,5-5 разів вища, ніж в іноземних державах, 80-88 % основних фондів морально застаріли. Іноземні інвестиції в хімічну галузь становлять лише 5 %, хоча галузь є однією з найбільших експортерів в економіці України: 75 % усіх обсягів випуску хімічної продукції йде на експорт (з них 80% становлять мінеральні добрива).



Одними з пріоритетних напрямків роботи наукових установ хімічної галузі є розробка енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій, а також утилізація небезпечних відходів (наприклад, утилізація сірководневих газів). Сьогодні важливим є забезпечення виробництва шин (автомобільних та авіаційних) полімерною сіркою, яка застосовується як вулканізуючий агент. Також полімерна сірка застосовується як домішка до бетонних та асфальтових композицій, що різко покращують експлуатаційні характеристики дорожніх покриттів. Виробництва полімерної сірки в країнах що входили до СНД немає. 80% обсягів світового випуску сірки виробляється із природного газу.

Терміни, що використовуються в цій лекції, даються у відповідності з їх визначенням у ДСТУ 4933:2008 «Безпека у надзвичайних ситуаціях. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять» та «Методики прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті: наказ МНС України 29 листопада 2019 року № 1000.

*Хімічно небезпечний об'єкт (ХНО)* – об'єкт, на якому використовують, переробляють, зберігають або транспортують небезпечні хімічні речовини, у разі аварії на якому чи під час руйнування якого можуть загинути чи отримати ушкодження люди, а також це може призвести до хімічного забруднення навколишнього середовища.

*Аварія з викиданням, проливанням небезпечних хімічних речовин* – аварія на хімічно небезпечному об'єкті, що супроводжується викиданням, проливанням небезпечних хімічних речовин, які можуть призвести до загибелі чи ураження людей і/або хімічного забруднення навколишнього природного середовища.

*Небезпечна хімічна речовина (НХР)* – хімічна речовина, безпосередня чи опосередкована дія якої на людину може спричинити загибель, гостре або хронічне захворювання людей, завдає шкоди навколишньому середовищу.

*Хімічне забруднення* – розповсюдження небезпечних хімічних речовин у навколишньому середовищі в концентраціях чи кількостях, що протягом певного часу створюють загрозу життю та здоров'ю людей та/або негативно впливають на навколишнє природне середовище.

*Зона хімічного забруднення (ЗХЗ)* – територія або акваторія, у межі якої потрапили НХР у концентраціях або кількостях, що протягом певного часу створюють небезпеку для життя та здоров'я людей і завдають шкоди навколишньому природному середовищу. ЗХЗ є сукупністю забруднених площ району аварії та площ, утворених первинною та/або вторинною хмарою НХР.

*Хмара НХР* – це суміш парів і дрібних крапель НХР з повітрям в обсягах (концентраціях), небезпечних для довкілля (уражальних концентраціях). Розрізняють первинну і вторинну хмару забрудненого повітря.

*Первинна хмара* небезпечних хімічних речовин – хмара НХР, яка утворюється внаслідок миттєвого (1-2 хв) переходу в атмосферу всього об'єму емності з НХР або її частини.

*Вторинна хмара* небезпечних хімічних речовин – хмара НХР, яка утворюється внаслідок випаровування розлитої НХР з поверхні.

## Класифікація небезпечних хімічних речовин

За критерієм характеру впливу на населення НХР можна умовно розбити на три групи:

- аварійно хімічні небезпечні речовини (АХНР), використовувані в економіці, здатні викликати масові поразки населення при аваріях на об'єктах;
- постійно діючі хімічні небезпечні речовини (ПДХНР), що систематично чинять шкідливий вплив на організм людини
- бойові хімічні небезпечні речовини (БХНР), здатні викликати поразки населення при їхньому бойовому застосуванні можливим супротивником або при аваріях на об'єктах їхнього тимчасового зберігання і на підприємствах по знищенню.

Класифікація АХНР може бути проведена за наступними ознаками:

за основними фізико-хімічними властивостями та умовами зберігання:

- рідкі та леткі, що зберігаються під тиском (стиснені та скраплені гази) хлор, аміак, сірководень, фосген та інші;
- рідкі та леткі, що зберігаються в ємностях без тиску – синильна кислота, хлорпикрин тощо;
- кислоти, що димлять – сірчана, азотна, соляна тощо;
- сипучі та тверді нелеткі при температурі зберігання до 40 °С – сулема, фосфор, жовтий, миш'яковистий ангідрид;
- сипучі та тверді леткі речовини, при температурі зберігання до 40 °С – солі синильної кислоти, меркурани тощо.

за класом небезпеки (ступінь впливу на організм людини):

- надзвичайно небезпечні,
- високонебезпечні;
- помірнонебезпечні;
- малонебезпечні.

Відповідно до токсикологічної класифікації всі НХР поділяють на шість груп:

1. Речовини з переважно задушливою дією (хлор, трихлористий фосфор, фосген, хлориди сірки тощо) впливають на організм людини через вдихання парів, через деякий час ці речовини викликають токсичний набряк легенів.

2. Речовини переважно загально-токсичної дії (кислота синильна, вуглецю діоксид тощо) – викликають гострі порушення енергетичного обміну в організмі та поділяються на отрути крові, гемолітичні отрути, тканинні отрути (інгібітори ферментів дихальної системи, відокремлювачі процесів окислення), а також речовини, які виснажують запаси субстратів для процесів біологічного окислення. Уразі потраплення до організму людини смертельних доз з'являються судоми, різкий ціаноз, гостра серцево-судинна недостатність, зупинка дихання.

3. Речовини, яким властива задушлива і загально отруйна дія (сірководень, сульфатний ангідрид, азоту оксид тощо) мають здатність до сильної опікової дії, що значно ускладнює надання допомоги потерпілим. У разі високих

концентрацій спостерігаються судомі, знепритомніння, глибокий наркоз зі зникненням усіх рефлексів.

4. *Нейротропні отрути, що діють на виникнення, проведення і передавання нервових імпульсів* (фосфор-органічні сполуки (ФОС), сірковуглець) діють на нервову систему людини. У разі високих концентрацій - це глибокий наркоз зі зникненням усіх рефлексів, падіння артеріального тиску, порушення серцевого ритму.

5. *Речовини із задушливою і нейротропною дією* (аміак, гептил, гідразин тощо) – викликають гіпертонію, кон'юнктивіт носоглотки, кашель, блювання. При високих концентраціях – набряк губ і кон'юнктиви, кашель з мокротинням, ціаноз, тахікардія.

6. *Метаболічні отрути (отрути)* (діоксин, метилбромід, метилхлорид, спирт метиловий) втручаються в процес метаболізму речовин в організмі. Отруєння ними характеризується відсутністю певної реакції організму на отруту, але поступово у процес ураження втягується багато органів.

*за ступенем горючості*

- негорючі речовини – фосген, діоксан;
- негорючі, пожежонебезпечні речовини – хлор, азотна кислота, угарний газ, фтористий водень, хлорпікрин,
- важкогорючі речовини – скраплений аміак, ціаністий водень;
- горючі речовини – газоподібний аміак, гептил, сірковуглець, гідразин, оксиди азоту, дихлоретан тощо.

Небезпечні речовини, що обертаються на об'єктах підвищеної небезпеки, поділяються на такі категорії:

- горючі (займисті) газу;
- горючі рідини;
- горючі рідини, перегріті під тиском;
- ініціюючі (первинні) вибухові речовини;
- бризантні (вторинні) та піротехнічні вибухові речовини;
- речовини-окисники;
- високотоксичні речовини;
- токсичні речовини;
- речовини, які становлять небезпеку для довкілля (токсичні для водних організмів) та/або можуть здійснювати довгостроковий негативний вплив на водне середовище;
- речовини, які вступають у бурхливу реакцію з водою з виділенням горючих та/або вибухонебезпечних чи токсичних газів.

Крім класифікації небезпечних речовин за категоріями в Нормативах надається класифікація за видами аварій, що можуть статися, виходячи з властивостей небезпечних речовин, та за впливом уражальних факторів цих аварій. За цією класифікацією категорії небезпечних речовин поєднуються в групи (групи небезпечних категорій речовин за видами аварій та за впливом уражальних факторів):

- група 1 (вибух) – горючі (займисті) гази, горючі рідини, перегріті під тиском, ініціюючі (первинні), бризантні (вторинні) та піротехнічні вибухові речовини, речовини-окиснювачі, речовини, які вступають у бурхливу реакцію з водою з виділенням горючих та/або вибухонебезпечних чи токсичних газів;
- група 2 (пожежа) - горючі (займисті) гази, горючі рідини, перегріті під тиском, речовини-окисники, а також речовини, які вступають у бурхливу реакцію з водою з виділенням горючих та/або вибухонебезпечних чи токсичних газів;
- група 3 (шкідливі для людей і довкілля) - високотоксичні речовини, токсичні речовини, речовин, які становлять небезпеку для довкілля (високотоксичні для водних організмів), речовини, які становлять небезпеку для довкілля (токсичні для водних організмів) та/або можуть здійснювати довгостроковий негативний вплив на водне середовище, а також речовини, які вступають у бурхливу реакцію з водою з виділенням горючих та/або вибухонебезпечних чи токсичних газів.

## **2.2 Класифікація суб'єктів господарювання за видами небезпеки. Нормативно-правове забезпечення**

Система захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного характеру, як складова системи забезпечення національної безпеки становить собою систему загальнодержавних заходів, які реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами рад, органами управління з питань НС та цивільного захисту, підпорядкованими їм силами та засобами, підприємствами, установами, організаціями незалежно від форм власності, добровільними формуваннями, що забезпечують виконання організаційних, інженерно-технічних, протипожежних, протиепідемічних та інших заходів у сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Верховна Рада України в межах повноважень формує законодавчу базу в цій сфері, схвалює рішення з питань введення надзвичайного стану, встановлення зони надзвичайної екологічної ситуації, визначення загальної структури, чисельності, функцій сил реагування на надзвичайних ситуації.

### *Розглянемо нормативно-правове забезпечення безпеки ОПН*

1. Кодекс цивільного захисту України № 5403-VI від 02.10.2012 р.  
URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
2. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» від 18.01.2001 № 2245-III.
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2022р. № 1030 «Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки».
4. . Методика прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті: наказ МНС України 29 листопада 2019 року № 1000.

5. Міжнародні документи з питань техногенної безпеки наведено на електронному ресурсі <http://www-ns.iaea.org/standards>. Вони в тому числі включають нормативні документи МАГАТЕ з безпеки для захисту людей і екології середовища щодо об'єктів, на яких обертаються радіаційні речовини.

### **2.3 Критерії оцінки ступеню ризику від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки**

Розглянемо критерії розподілу суб'єктів господарювання за ступенем ризику від провадження господарської діяльності для безпеки життя і здоров'я населення, навколишнього природного середовища та періодичності здійснення заходів державного нагляду (контролю).

*Суб'єкти господарювання* – це організації, які на основі юридичне відокремленого майна в межах своєї господарської компетенції безпосередньо здійснюють господарську діяльність і використання її результатів або управлінську діяльність

Критерії, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки

1. Критеріями, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки, є:

- належність до потенційно небезпечних виробництв, об'єктів підвищеної небезпеки;
- категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою будівлі та приміщення;
- кількість людей, що постійно або тимчасово можуть перебувати одночасно на об'єкті;
- поверховість або висота будівель;
- розташування споруд під землею;
- наявність культурних, історичних, духовних та інформаційних цінностей;
- провадження господарської діяльності, пов'язаної з наданням послуг і виконанням робіт протипожежного призначення.

2. Відповідно до встановлених критеріїв суб'єкти господарювання з урахуванням значення прийнятного ризику від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки відносяться до одного з трьох ступенів ризику – високого, середнього та незначного.

3. До суб'єктів господарювання з високим ступенем ризику відносяться суб'єкти, у власності, володінні, користуванні яких перебувають:

- потенційно небезпечні об'єкти та об'єкти підвищеної небезпеки;
- промислові та складські будівлі (споруди), які належать до категорії «А» або «Б» за вибухопожежною небезпекою незалежно від площі та категорії «В» за пожежною небезпекою площею 500 м<sup>2</sup> і більше;
- об'єкти нового будівництва та реконструкції;

- об'єкти з масовим перебуванням людей, зокрема аеропорти, морські, річкові, залізничні та автомобільні вокзали республіканського та обласного значення, станції метрополітенів;
- об'єкти, на яких виконуються роботи із збирання зернових культур;
- висотні будинки (з умовною висотою понад 47 м);
- підземні споруди різного призначення;
- пам'ятки архітектури та історії, музеї, картинні галереї, бібліотеки, державні архівні установи.

До суб'єктів господарювання з високим ступенем ризику належать також суб'єкти, що надають послуги і виконують роботи протипожежного призначення. Під час здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) за діяльністю таких суб'єктів у сфері техногенної та пожежної безпеки органи державного пожежного нагляду вибірково перевіряють якість наданих ними послуг (виконаних робіт) на об'єктах.

4. До суб'єктів господарювання із середнім ступенем ризику відносяться суб'єкти, у власності, володінні, користуванні яких перебувають:

- будівлі підвищеної поверховості (з умовною висотою від 26,5 до 47 м включно);
- музеї, картинні галереї, бібліотеки, державні архівні установи.

5. До суб'єктів господарювання з незначним ступенем ризику відносяться суб'єкти, що не належать до суб'єктів господарювання з високим та середнім ступенем ризику.

6. Планові заходи державного нагляду (контролю) за діяльністю суб'єктів господарювання у сфері техногенної та пожежної безпеки здійснюються з такою періодичністю:

- із високим ступенем ризику – не частіше ніж один раз на рік;
- із середнім ступенем ризику – не частіше ніж один раз на 3 роки;
- з незначним ступенем ризику – не частіше ніж один раз на 5 років.

**Висновки.** Техногенна небезпека хімічно небезпечних об'єктів залежить від багатьох факторів, найбільш значущими з яких є властивості та умови зберігання небезпечних хімічних речовин.

### **Питання для самоконтролю**

1. Дайте визначення основних термінів: об'єкт підвищеної небезпеки, хімічно-небезпечний об'єкт, аварія з викиданням хімічно-небезпечних речовин.

2. Як класифікуються хімічно-небезпечні речовини за основними фізико-хімічними властивостями та умовами зберігання?

3. Наведіть основні нормативні документи з питань забезпечення захисту населення від наслідків техногенної небезпеки.

4. Поясніть критерії розподілу суб'єктів господарювання за ступенем ризику від провадження господарської діяльності

## Рекомендована література

1. Кодекс цивільного захисту України № 5403-VI від 02.10.2012 р.
2. ДСТУ 4933:2008 «Безпека у надзвичайних ситуаціях. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять».
3. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Кріса І.Я. та ін. Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки. Харків, 2010. С. 113-123.
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2022 № 1030 «Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки».
5. Методика прогнозування наслідків виліву (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті: наказ МНС України 29 листопада 2019 року № 1000.
6. Електронний ресурс <http://www-ns.iaea.org/standards>
7. Додаток до постанови Кабінету Міністрів України від 5 вересня 2018 р. № 715 «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій».
8. Методика спостережень щодо оцінки радіаційної та хімічної обстановки: наказ МВС України від 27.11.2019 № 986.

## ЛЕКЦІЯ 3

# КЛАСИФІКАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ЗА ВИДАМИ НЕБЕЗПЕКИ. ОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВ ВІД ПРОВАДЖЕННЯ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

### ПЛАН

3.1 Класифікація надзвичайних ситуацій за видами небезпек. Нормативні положення.

3.2 Оцінка небезпеки підприємств від провадження господарської діяльності.

### **3.1 Класифікація надзвичайних ситуацій за видами небезпек. Нормативні положення**

Зростання кількості виникнення надзвичайних ситуацій в останні роки змусило розглядати питання класифікації надзвичайних ситуацій, як питання державної значимості. Державний Комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики 11 жовтня 2010 р. було затверджено Державний класифікатор надзвичайних ситуацій (ДК 019-2010) [1]. В свою чергу наказом МВС України за №658 від 6 серпня 2018 р. прийнято «Класифікаційні ознаки надзвичайних ситуацій» [2]. 24 березня 2004 р. Кабінет Міністрів України прийняв Постанову за № 368 «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями» [3]. Ці та раніше прийняті документи призначені для використання міністерствами та іншими центральними органами виконавчої влади, органами управління всіх рівнів Єдиної державної системи запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру, виконавчими органами рад, підприємствами, установами та організаціями, аварійно-рятувальними, черговими, та диспетчерськими службами, незалежно від форм власності та підпорядкування.

Залежно від причин походження подій, що зумовили або можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняють НС техногенного, природного, соціально-політичного та воєнного характеру, а в залежності від обсягів заподіяних збитків, технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для їх ліквідації, надзвичайні ситуації класифікуються як державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів [1-3].

На рис. 3.1. схематично показано алгоритм класифікації надзвичайної ситуації. Він складається з трьох етапів: віднесення події за пороговим значенням до НС, класифікація її за походженням та класифікація за рівнем. При цьому враховується характер походження НС, ступінь поширення її небезпечних факторів та розмір людських втрат і матеріальних збитків.

*Надзвичайні ситуації техногенного характеру. Основні терміни та визначення:*

**Аварія** – небезпечна подія техногенного характеру, що спричинила ураження, травмування населення або створює на окремій території чи території суб'єкта господарювання загрозу життю або здоров'ю населення та при-



зводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи спричиняє наднормативні, аварійні викиди забруднюючих речовин та інший шкідливий вплив на навколишнє природне середовище.

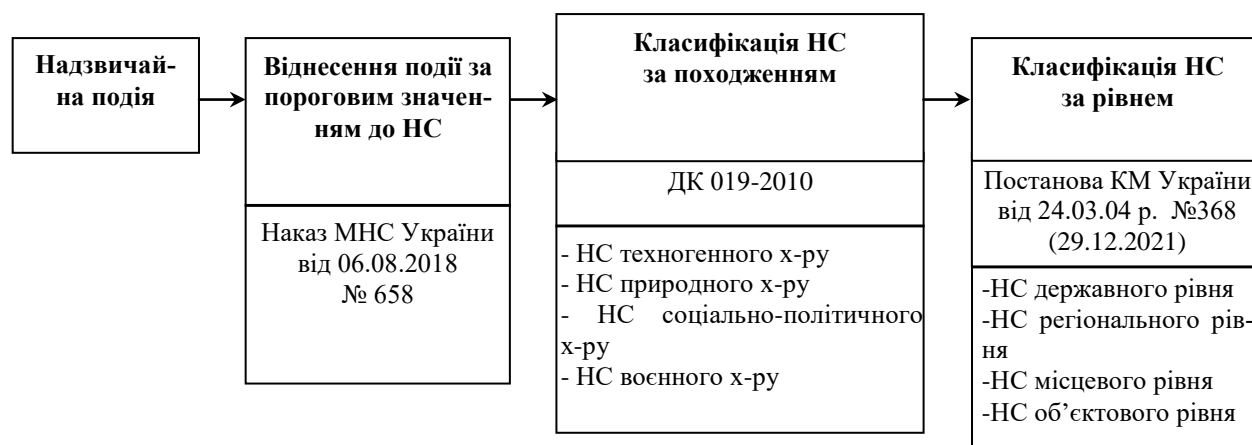


Рисунок 3.1. – Алгоритм класифікації надзвичайної ситуації

**Аварія на об'єкті підвищеної небезпеки** – небезпечна подія техногенного характеру, що виникла під час експлуатації джерела небезпеки і за своїми наслідками призвела (може призвести) до загибелі, загрози життю або здоров'ю працівників об'єкта підвищеної небезпеки і населення чи до забруднення навколишнього природного середовища.

**Забезпечення техногенної безпеки** – сукупність дій органів влади, суб'єктів господарювання, керівників (власників) та відповідальних осіб об'єктів, спрямованих на запобігання аваріям, аварійним та надзвичайним ситуаціям техногенного характеру на небезпечних об'єктах та небезпечних територіях.

**Зона можливого ураження** – окрема територія, акваторія, на якій внаслідок настання надзвичайної ситуації виникає загроза життю або здоров'ю людей та заподіяна шкода майну.

**Зона надзвичайної ситуації** – окрема територія, акваторія, де сталася надзвичайна ситуація;

**Катастрофа** – велика за масштабами аварія чи інша подія, що призводить до тяжких наслідків;

**Класифікаційна ознака надзвичайних ситуацій** – технічна або інша характеристика небезпечної події, що зумовлює виникнення обстановки, яка визначається як надзвичайна ситуація;

**Класифікація надзвичайних ситуацій** - система, згідно з якою надзвичайні ситуації поділяються на класи і підкласи залежно від характеру їх походження;

**Надзвичайна ситуація** - обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою,

аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності;

**Небезпечна подія** - подія, у тому числі катастрофа, аварія, пожежа, стихійне лихо, епідемія, епізоотія, епіфітотія, яка за своїми наслідками становить загрозу життю або здоров'ю населення чи призводить до завдання матеріальних збитків;

**Небезпечні об'єкти** - об'єкти підвищеної небезпеки та інші об'єкти, що можуть створити реальну загрозу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру не нижче місцевого рівня, визначеного відповідно до Кодексу цивільного захисту України;

**Небезпечний чинник** - складова частина небезпечного явища (пожежа, вибух, викидання, загроза викидання небезпечних хімічних, радіоактивних і біологічно небезпечних речовин) або процесу, що характеризується фізичною, хімічною, біологічною чи іншою дією (впливом), перевищенням нормативних показників і створює загрозу життю та/або здоров'ю людини;

**Стихійне лихо** – природне явище, що діє з великою руйнівною силою, заподіює значну шкоду території, на якій відбувається, порушує нормальну життєдіяльність населення, завдає матеріальних збитків;

**Техногенна безпека** – відсутність ризику виникнення аварій та/або катастроф на об'єктах, що можуть створити реальну загрозу їх виникнення. Техногенна безпека характеризує стан захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Забезпечення техногенної безпеки є особливою (специфічною) функцією захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій.

Попередня оцінка небезпечної події, що сталася або може статися, і визначення її як надзвичайної ситуації здійснюється оперативним черговим персоналом об'єкту, місцевого органу виконавчої влади чи органу місцевого самоврядування, виходячи з первинної інформації та керуючись відповідними інструкціями, Положенням про класифікацію надзвичайних ситуацій, Класифікатором надзвичайних ситуацій в Україні, а також пороговими значеннями показників ознак надзвичайної ситуації.

*Мета класифікації* надзвичайних ситуацій за їх рівнями – забезпечення організації взаємодії центральних і місцевих органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій у процесі вирішення питань, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями та ліквідацією їх наслідків.

Залежно від обсягів заподіяних наслідків, технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для їх ліквідації, надзвичайна ситуація класифікується як *державного, регіонального, місцевого або об'єктового рівня* [3, 4].

Для визначення рівня надзвичайної ситуації встановлюються такі критерії:

1) територіальне поширення та обсяги технічних і матеріальних ресурсів, що необхідні для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;

2) кількість людей, які внаслідок дії уражальних чинників джерела надзвичайної ситуації загинули або постраждали, або нормальні умови життєдіяльності яких порушено;

3) розмір збитків, завданих уражальними чинниками джерела надзвичайної ситуації, розраховується відповідно до Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. №175 [5];

**Державного рівня** визнається надзвичайна ситуація:

1) яка поширилася чи може поширитися на територію інших держав або поширилася з території інших держав;

2) яка поширилась на територію двох чи більше регіонів України (Автономної Республіки Крим, областей, м. Києва та м. Севастополя), а для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують можливості цих регіонів, але не менш як 1 відсоток від обсягу видатків відповідних місцевих бюджетів (надзвичайна ситуація державного рівня за територіальним поширенням);

3) яка призвела до загибелі понад 10 осіб або внаслідок якої постраждало понад 300 осіб (постраждали - особи, яким внаслідок дії уражальних чинників джерела надзвичайної ситуації завдано тілесне ушкодження або які захворіли, що призвело до втрати працездатності, засвідченої в установленому порядку) чи було порушено нормальні умови життєдіяльності понад 50 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби);

4) внаслідок якої загинуло понад 5 осіб або постраждало понад 100 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності понад 10 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки (оцінені в установленому законодавством порядку), спричинені надзвичайною ситуацією, перевищили 25 тис. мінімальних розмірів (на час виникнення надзвичайної ситуації) заробітної плати;

5) збитки від якої перевищили 150 тис. мінімальних розмірів заробітної плати;

б) яка пов'язана з установленням карантину на всій території України, а також яка в інших випадках, передбачених актами законодавства, за своїми ознаками визнається як надзвичайна ситуація державного рівня.

**Регіонального рівня** визнається надзвичайна ситуація:

1) яка поширилась на територію двох чи більше районів (міст обласного значення) Автономної Республіки Крим, областей, а для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують можливості цих районів, але не менш як 1 відсоток обсягу видатків відповідних місцевих бюджетів (надзвичайна ситуація регіонального рівня за територіальним поширенням);

2) яка призвела до загибелі від 3 до 5 осіб або внаслідок якої постраждало від 50 до 100 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності

від 1 тис. до 10 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки перевищили 5 тис. мінімальних розмірів заробітної плати;

3) збитки від якої перевищили 15 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.

**Місцевого рівня** визнається надзвичайна ситуація:

1) яка поширилася чи може поширитися за межі об'єкта та створює на окремій території чи на інших об'єктах загрозу життю або здоров'ю населення, призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи спричиняє наднормативні, аварійні викиди забруднюючих речовин та інший шкідливий вплив на навколишнє природне середовище, а для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості об'єкта;

2) внаслідок якої загинуло 1-2 особи або постраждало від 20 до 50 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності від 100 до 1000 осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки перевищили 0,5 тис. мінімальних розмірів заробітної плати;

3) збитки від якої перевищили 2 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.

**Об'єктового рівня** визнається надзвичайна ситуація, яка не підпадає під названі вище визначення.

Надзвичайна ситуація відноситься до певного рівня за умови відповідності їй хоча б одному із значень критеріїв, наведеному у зазначених описах рівнів.

У разі коли внаслідок надзвичайної ситуації для відповідних порогових значень рівнів людських втрат або кількості осіб, які постраждали чи зазнали порушення нормальних умов життєдіяльності, обсяг збитків не досягає визначеного у цьому Порядку [3, 4], рівень надзвичайної ситуації визнається на ступінь менше (для дорожньо-транспортних пригод – на два ступеня менше).

Віднесення надзвичайної ситуації, яка виникла на території кількох адміністративно-територіальних одиниць, до державного та регіонального рівня за територіальним поширенням або за сумарними показниками її наслідків не є підставою для віднесення надзвичайної ситуації до державного або регіонального рівня окремо для кожної з цих адміністративно-територіальних одиниць. Віднесення надзвичайної ситуації до державного та регіонального рівня для зазначених адміністративно-територіальних одиниць здійснюється окремо за критеріями та правилами, зазначеними у пунктах 4-9 Порядку [3, 4].

Рішення стосовно класифікації надзвичайної ситуації за рівнем (визначення рівня надзвичайної ситуації) приймається:

– місцевими комісіями з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій;

– регіональними комісіями з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій – у разі відсутності рішення місцевої комісії з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій або необхідності його перегляду;

– ДСНС – у разі відсутності рішень зазначених комісій з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій.

За дорученням Кабінету Міністрів України ДСНС готує експертний висновок про рівень надзвичайної ситуації з урахуванням рішення (за наявності) регіональної комісії з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій.

ДСНС має право звернутися до центральних органів виконавчої влади за інформацією про розмір завданих збитків. Відповідальність за достовірність інформації несе орган виконавчої влади, який її подає.

У разі аварійної події (пригоди), що сталася з транспортним засобом, або аварії на виробництві (незалежно від форми власності) до інформації центрального органу виконавчої влади додається акт розслідування такої події (пригоди) або аварії, проведеного в установленому законодавством порядку.

Рішення комісій з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій щодо класифікації надзвичайної ситуації за рівнем (визначення рівня надзвичайної ситуації) або рішення (експертний висновок) ДСНС є підставою для здійснення інших заходів щодо реагування на надзвичайну ситуацію відповідно до законодавства.

Згідно [2] **класифікаційні ознаки надзвичайних ситуацій** розподілені на:

- надзвичайні ситуації техногенного характеру (78 описів ознак);
- надзвичайні ситуації природного характеру (51 опис ознак);
- надзвичайні ситуації соціального характеру (25 описів ознак).

Структура коду класифікатора має 5 розрядів і відповідає такій схемі [1]:



Приклад

10000 – НС техногенного характеру;

10100 – НС унаслідок аварій чи катастроф на транспорті (за винятком пожеж і вибухів);

10110 – НС унаслідок аварії на транспорті з викиданням (загрозою викидання) небезпечних і шкідливих (забруднювальних) речовин;

10111 – НС унаслідок аварії на транспорті з викиданням (загрозою викидання) БНР.

Під час класифікації надзвичайних ситуацій використано прийнято такі позначки та скорочення:

- БНР – біологічно небезпечна речовина;
- ГДК – гранично-допустима концентрація;
- НХР – небезпечна хімічна речовина;
- РР – радіоактивна речовина.

Повний перелік кодів НС наведені в додатках [1].

### **3.2 Оцінка небезпеки підприємств від провадження господарської діяльності**

Згідно з Кодексом цивільного захисту України діяльність із забезпечення пожежної безпеки є складовою виробничої та іншої діяльності посадових осіб і працівників підприємств, установ та організацій. Забезпечення пожежної безпеки суб'єкта господарювання покладається на власників та керівників таких суб'єктів господарювання незалежно від форми власності.

Виробничі, житлові, інші будівлі та споруди, обладнання, транспортні засоби, що вводяться в дію чи експлуатацію після завершення будівництва, реконструкції або технічного переоснащення, а також технологічні процеси та продукція мають відповідати вимогам нормативно-правових актів з пожежної безпеки.

Центральний орган виконавчої влади, який здійснює державний нагляд у сфері техногенної та пожежної безпеки, уповноважений організувати та здійснювати державний нагляд (контроль) щодо виконання вимог законів та інших нормативно-правових актів з питань техногенної та пожежної безпеки, цивільного захисту.

Згідно закону України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» [6] одним з основних принципів державного нагляду (контролю) є оцінки ризиків та доцільності.

До критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки, належать [7]:

- вид об'єкта (приміщення, будівля, споруда, будинок, територія), що належить суб'єкту господарювання на праві власності, володіння, користування (далі - об'єкт);
- площа об'єкта;
- максимальна розрахункова (проектна) кількість людей, які постійно або періодично перебувають на об'єкті;
- умовна висота об'єкта (висота, яка визначається різницею позначок найнижчого рівня проїзду (установлення) пожежних автодрабин (автопідійомників) і підлоги верхнього поверху без урахування верхніх технічних поверхів, якщо на технічних поверхах розміщено лише інженерні обладнання та комунікації будинку);
- наявність та масштаб небезпечних подій, надзвичайних ситуацій, які сталися на об'єкті протягом останніх п'яти років, що передують плановому періоду;
- клас наслідків (відповідальності) під час будівництва об'єкта;

– кількість порушень вимог законодавства у сфері техногенної та пожежної безпеки, пов'язаних з експлуатацією або під час будівництва об'єкта та виявлених протягом останніх п'яти років, що передують плановому періоду.

Ризики настання негативних наслідків від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки визначено в Додатку 1 [7].

Вичерпний перелік критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері техногенної та пожежної безпеки, їх показники та кількість балів за кожним показником визначено в Додатку 2 [7].

Віднесення суб'єкта господарювання до високого, середнього або незначного ступеня ризику здійснюється з урахуванням суми балів, нарахованих за всіма критеріями, визначеними в Додатку 2 [7], за такою шкалою:

- від 41 до 100 балів – високий;
- від 21 до 40 балів – середній;
- від 0 до 20 балів – незначний.

Якщо суб'єкту господарювання належить на праві власності, володіння або користування більше одного об'єкта, кількість балів нараховується за всіма критеріями, визначеними в Додатку 2 [7], окремо щодо кожного об'єкта.

Стосовно об'єктів, що будуються, сума балів нараховується лише за критеріями 5-7, визначеними в Додатку 2 [7].

Суб'єкт господарювання, якому належить на праві власності, володіння або користування більше ніж один об'єкт, відноситься до ступеня ризику за тим з його об'єктів, якому нараховано найбільшу кількість балів.

Планові заходи державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки здійснюються за діяльністю суб'єктів господарювання з такою періодичністю:

- з високим ступенем ризику – не частіше одного разу на два роки;
- із середнім ступенем ризику – не частіше одного разу на три роки;
- з незначним ступенем ризику – не частіше одного разу на п'ять років.

Якщо суб'єкту господарювання належить на праві власності, володіння або користування більше одного об'єкта, перевірка суб'єкта господарювання здійснюється з періодичністю, що залежить від суми балів, нарахованих окремо щодо кожного об'єкта.

У разі коли за результатами останнього планового заходу державного нагляду (контролю) у суб'єкта господарювання не виявлено суттєвих порушень вимог законодавства у сфері техногенної та пожежної безпеки, наступна планова перевірка такого суб'єкта господарювання проводиться не раніше ніж через установлений для відповідного ступеня ризику період, збільшений удвічі. Це положення не застосовується до суб'єктів господарювання, віднесених до високого ступеня ризику.

## **Питання для самоконтролю**

1. Як розрізняють надзвичайні ситуації в залежності від причин походження подій?
2. С чого складається алгоритм класифікації надзвичайної ситуації?
3. Дайте визначення наступним термінам: аварія, аварія на об'єкті підвищеної небезпеки, зона надзвичайної ситуації, Надзвичайна ситуація, небезпечні об'єкти.
4. Як класифікують надзвичайні ситуації в залежності від обсягів заподіяних наслідків?

## **Рекомендована література**

1. Національний класифікатор України класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010.
2. Наказ МВС України №658 від 06.08.2018 р. «Класифікаційні ознаки надзвичайних ситуацій».
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями», № 368 від 24.03.2004 р.
4. Постанова Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями», № 297 від 02.04.2009 р.
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру», №175, від 15.02.2002 р.
6. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2007, № 29, ст.389).
7. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою з надзвичайних ситуацій», № 715 від 05.09.2018 р.



## ЛЕКЦІЯ 4

# МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

### ПЛАН

- 4.1. Ідентифікація. Процедура та основні терміни.
- 4.2. Етапи ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки
- 4.3. Методика ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки

#### **4.1 Ідентифікація. Процедура та основні терміни**

Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки проводиться з метою визначення та віднесення об'єктів, на яких розміщені установки, сховища (резервуари, посудини), трубопроводи, машини, агрегати, технологічне устаткування (обладнання), споруди або комплекс споруд, що розташовані в межах об'єкта на поверхні землі або під землею (далі – виробнича одиниця), в яких тимчасово або постійно використовується, переробляється, виготовляється, транспортується, зберігається одна або кілька небезпечних речовин, до об'єктів підвищеної небезпеки відповідного класу. Процедуру проведення об'єктів підвищеної небезпеки визначено Постановою Кабінету Міністрів України «Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки» № 1030 від 13 вересня 2022р. (далі Порядок) [1].

Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) проводиться юридичними або фізичними особами – підприємцями (далі – суб'єкт господарювання) стосовно об'єктів, які перебувають у їх власності або користуванні, у яких тимчасово або постійно використовується, переробляється, виготовляється, транспортується, зберігається одна або кілька небезпечних речовин.

Ідентифікація ОПН стосовно об'єктів, які проектуються, проводиться замовниками будівництва.

Ідентифікація ОПН стосовно об'єктів, інформація про які є державною таємницею, проводиться з дотриманням вимог відповідних нормативно-правових актів.

Об'єкти підвищеної небезпеки, що належать одному суб'єкту господарювання, але за територіальною ознакою мають різні адреси місцезнаходження, вважаються різними об'єктами підвищеної небезпеки.

Терміни, що вживаються у Порядку, мають таке значення:

– Державний електронний реєстр об'єктів підвищеної небезпеки (далі – Реєстр) – інформаційно-комунікаційна система, що створюється відповідно до вимог Закону України «Про публічні електронні реєстри», держателем якої є ДСНС, та яка забезпечує збирання, накопичення, захист, облік, відображення, оброблення реєстрових даних та надання реєстрової інформації, а також електронну взаємодію між фізичними та юридичними особами, державними органами, органами місцевого самоврядування з метою отримання визначеної законодавством інформації у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки;

- категорія небезпеки – група критеріїв у межах кожного класу небезпеки небезпечної речовини із визначенням ступеня небезпеки;
- клас небезпеки небезпечної речовини (клас небезпечної речовини) – характер фізичної небезпеки небезпечної речовини, небезпеки для здоров'я людини або навколишнього природного середовища;
- повідомлення про результати ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки (далі – повідомлення за формою ОПН-1) - документ, що формується у Реєстрі (до введення Реєстру в дію складається суб'єктом господарювання) за результатами ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки.

Інші терміни, які використовуються під час проведення ідентифікації ОПН, вживаються у значенні та мають посилання на Кодекс цивільного захисту України [2], Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» [3], а також у ДСТУ 2960-94 «Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення» [4].

#### **4.2 Етапи ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки**

Ідентифікація об'єкта підвищеної небезпеки проводиться трьома етапами.

На *першому* етапі складається перелік небезпечних речовин за індивідуальними назвами, класами небезпечних речовин та категоріями небезпеки, наведеними відповідно в табл. 1 і 2 Додатку 1 Порядку, що розміщені або можуть розміщатися у виробничих одиницях на об'єкті згідно з проектною та технічною документацією.

У разі коли небезпечні речовини мають властивості, що дають змогу віднести їх до кількох класів небезпечних речовин або категорій небезпеки, для цілей ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки застосовується найменша порогова маса небезпечних речовин.

Суміші необхідно розглядати так само, як чисті речовини, за умови, що їх концентрація зберігається у межах, установлених відповідно до їх властивостей згідно з Регламентом (ЄС) № 1272/2008 [5] або його останньої версії, адаптованої до технічного прогресу, за винятком випадків, коли зазначено конкретний процентний вміст або надано будь-який інший опис .

На *другому* етапі складається перелік виробничих одиниць, які містять небезпечні речовини, визначені згідно з п.5 Порядку.

На *третьому* етапі визначається маса небезпечної речовини в кожній окремій виробничій одиниці та проводиться розрахунок загальної маси небезпечних речовин окремо для кожної індивідуальної назви небезпечної речовини, визначеної згідно з табл. 1 дод. 1 Порядку. У разі відсутності назви наявної небезпечної речовини в зазначеній таблиці проводиться розрахунок загальної маси небезпечних речовин відповідного класу небезпечної речовини (категорії небезпеки), визначеного згідно з табл. 2 дод. 1 Порядку.

### 4.3 Методика ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки

Загальна маса небезпечної речовини, яка обирається для розрахунків:

1) для сховищ (резервуарів) – сумарна маса небезпечної речовини, що може в них розміщатися за максимально допустимого завантаження відповідно до проектної або технічної документації, з урахуванням вимог нормативно-правових актів;

2) для технологічних установок – сумарна маса, що може розміщатися в апаратах і трубопроводах відповідно до проектної або технічної документації;

3) для обладнання колонного типу – сумарна маса небезпечної речовини за максимального рівня рідини на тарілках. Для апаратів, у яких застосовуються наповнювачі з пористим інертним середовищем, сумарна маса небезпечної речовини визначається з урахуванням максимального обсягу вільного простору;

4) для лінійної частини магістральних нафтопровідних, нафтопродуктопровідних та інших трубопровідних систем для транспортування рідких небезпечних речовин - сумарна маса небезпечної речовини, що міститься в лінійній частині трубопроводу між двома запірними пристроями, і сумарна маса, що може виділитися протягом часу, встановленого для виявлення витоку речовини та здійснення перекриття запірних пристроїв, згідно з проектною документацією, а для внутрішньооб'єктових трубопроводів - сумарна маса небезпечної речовини в усьому трубопроводі.

Для розрахунку сумарної маси нафти, нафтопродуктів та інших небезпечних речовин використовуються параметри проектного режиму експлуатації магістральних трубопроводів і технологічного обладнання та проектна ємність резервуарних парків;

5) для лінійної частини магістральних газопроводів – сумарна маса небезпечної речовини, що міститься в ділянці газопроводу між лінійною запірною арматурою, включаючи резервні нитки, технологічні перемички і відгалуження, та сумарна маса, що може виділитися протягом розрахункового часу, необхідного для виявлення витоку речовини та здійснення ручного перекриття лінійної запірної арматури згідно з технологічним регламентом та проектною документацією.

Сумарна маса газу визначається з урахуванням проектних значень робочого тиску газу на ділянках магістральних газопроводів та в технологічному обладнанні;

б) для систем постачання природного газу до населених пунктів та адміністративних районів – сумарна маса природного газу, що міститься в системі за умови дотримання проектного значення тиску, яка встановлюється шляхом визначення суми:

– маси газу, що міститься в газопроводах високого тиску I і II категорії всіх діаметрів, з урахуванням маси газу, що може виділитися із системи протягом розрахункового часу, необхідного для локалізації аварії;

– маси газу, що міститься в газопроводах середнього тиску всіх діаметрів, урахуваючи масу газу, що може виділитися із системи протягом розра-

хункового часу, необхідного для локалізації аварії.

Розрахунковий час виявлення витoku речовини та перекривання трубопроводів визначається в кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, і повинен бути мінімальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої, характеру технологічного процесу та виду розрахункової аварії.

Під час проведення розрахунків маса газу, що міститься у дворових вводах, не враховується.

7) для міжцехових, внутрішньоцехових, внутрішньоскладських трубопроводів – сумарна маса небезпечної речовини в усьому трубопроводі;

8) для операцій зливу-наливу – додатково враховується сумарна маса небезпечної речовини в залізничних або автомобільних цистернах, у вантажних танках суден під час проведення технологічних операцій. Для проведення таких розрахунків використовуються значення проектної ємності та проектної кількості цистерн або танків, які можуть установлюватися на естакаді або причалі одночасно.

У разі коли на об'єкті загальна маса небезпечних речовин, визначена відповідно до пунктів 7 і 8 цього Порядку, дорівнює або перевищує порогову масу небезпечної речовини за індивідуальною назвою чи відповідним класом небезпечної речовини (категорією безпеки), такий об'єкт належить до об'єкта підвищеної безпеки відповідного класу.

У разі коли на об'єкті відсутні певні небезпечні речовини із загальною масою, що перевищує або дорівнює відповідній пороговій масі, з метою вирішення питання про віднесення об'єкта до об'єкта підвищеної безпеки необхідно застосовувати такі формули:

1) об'єкт є об'єктом підвищеної безпеки 1 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{1i}} \geq 1, \quad (1)$$

де  $q_i$  – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією безпеки) відповідно до табл. 1 або табл. 2 Додатку 1 Порядку;

$Q_{1i}$  – порогова маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією безпеки) для об'єкта підвищеної безпеки 1 класу, визначена в табл. 1 або табл. 2 Додатку 1 Порядку;

2) об'єкт є об'єктом підвищеної безпеки 2 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{2i}} \geq 1, \quad (2)$$

де  $q_i$  – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією безпеки) відповідно до табл. 1 або табл. 2 Додатку 1 Порядку;

$Q_{2i}$  – порогова маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією небезпеки) для об'єкта підвищеної небезпеки 2 класу, визначена в табл. 1 або табл. 2 Додатку 1 Порядку;

3) об'єкт є об'єктом підвищеної небезпеки 3 класу, якщо сума:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{2i}} \geq 1, \quad (3)$$

де  $q_i$  – маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією небезпеки) відповідно до табл. 1 або табл. 2 Додатку 1 Порядку;

$Q_{3i}$  – порогова маса окремої небезпечної речовини за індивідуальною назвою або класом небезпечної речовини (категорією небезпеки) для об'єкта підвищеної небезпеки 3 класу визначена в табл. 1 або табл. 2 Додатку 1 Порядку.

Визначена за наведеними формулами розрахункова сума всіх небезпечних речовин, що розміщені на об'єкті, зазначається з точністю до другого знаку після коми.

Наведені у п.10 цього Порядку формули з метою оцінювання впливу небезпеки від небезпечних речовин на здоров'я людини, об'єкти інфраструктури (фізична безпека) та навколишнє природне середовище застосовуються окремо для кожного виду загроз, а саме:

1) для впливу на організм і здоров'я людини розраховується загальна маса небезпечних речовин, наведених у секції «Н» («Загроза для здоров'я людини») табл. 2 Додатку 1 Порядку;

2) для впливу на об'єкти інфраструктури розраховується загальна маса небезпечних речовин, наведених у секції «Р» («Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури») табл. 2 Додатку 1 Порядку;

3) для впливу на навколишнє природне середовище розраховується загальна маса небезпечних речовин, наведених у секції «Е» («Загрози для навколишнього природного середовища») табл. 2 Додатку 1 Порядку;

4) для розрахунку інших загроз використовується загальна маса небезпечних речовин секції «О» («Інші загрози»).

При цьому використовується найменша порогова маса небезпечної речовини за її секцією та класом небезпечних речовин та категорією.

У разі коли небезпечна речовина зазначена в табл. 1 і табл. 2 Додатку 1 Порядку, у розрахунках відповідно використовуються порогові маси небезпечних речовин за індивідуальними назвами, зазначені у табл. 1 Додатку 1 Порядку.

Інформація, визначена на кожному з трьох етапів ідентифікації, вноситься до Реєстру з метою автоматизованого проведення ідентифікації, формування повідомлення за формою ОПН-1 згідно з Додатку 2 Порядку та його надсилення до ДСНС або її територіального органу за місцезнаходженням об'єкта з ме-

тою перевірки повноти наведеної інформації та прийняття рішення про віднесення об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки відповідного класу.

До введення в дію Реєстру за результатами ідентифікації складається повідомлення за формою ОПН-1 згідно з Додатку 2 Порядку, яке подається до ДСНС або її територіального органу за місцезнаходженням об'єкта з метою перевірки наведеної інформації та прийняття рішення про віднесення об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки відповідного класу.

Розрахунки, які проводяться під час ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки, оформляються у вигляді розрахунково-пояснювальної записки, до якої додаються підтвердні матеріали стосовно віднесення речовини до відповідного класу небезпечних речовин та категорії небезпеки, що додаються до повідомлення за формою ОПН-1 та враховуються під час перевірки повноти наведеної в ньому інформації.

ДСНС або її територіальний орган протягом 20 робочих днів після отримання від суб'єкта господарювання повідомлення про результати ідентифікації приймає рішення про віднесення (невіднесення) об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки відповідного класу або з урахуванням п.22 цього Порядку виключення його з Реєстру, про що інформує суб'єкта господарювання, відповідну місцеву держадміністрацію, орган місцевого самоврядування та органи державного нагляду (контролю), що здійснюють державний нагляд (контроль) у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної небезпеки.

У разі надання суб'єктом господарювання неповної або неточної інформації про результати ідентифікації ДСНС або її територіальний орган протягом 10 робочих днів після виявлення такого факту письмово повідомляє про це суб'єкту господарювання, який опрацьовує відповідну інформацію та подає відкориговане повідомлення за формою ОПН-1 для розгляду в установленому порядку.

Ідентифікація об'єкта підвищеної небезпеки вважається завершеною після письмового (електронного) повідомлення ДСНС або її територіальним органом суб'єкту господарювання про віднесення такого об'єкта до об'єкта підвищеної небезпеки відповідного класу або підтвердження того, що об'єкт не віднесено до об'єктів підвищеної небезпеки.

Порядок надання інформації про об'єкти підвищеної небезпеки, які належать до сфери управління Міноборони, для включення до Реєстру або виключення з нього встановлюється Міноборони за погодженням із ДСНС.

Для об'єктів, які проектуються, ідентифікація об'єкта підвищеної небезпеки проводиться до затвердження проектної документації з урахуванням вимог законодавства щодо впровадження розділу інженерно-технічних заходів цивільного захисту.

Для об'єктів підвищеної небезпеки, що включені до Реєстру, до введення в дію цього Порядку суб'єкти господарювання, які їх експлуатують, протягом року після введення в дію цього Порядку проводять їх ідентифікацію.

Місцеві держадміністрації, органи місцевого самоврядування, на території здійснення повноважень яких розміщені ідентифіковані об'єкти підви-

щеної безпеки, з урахуванням інформації, що міститься в Реєстрі, розміщують на власних офіційних веб-сайтах протягом 30 днів після отримання інформації від ДСНС або її територіального органу про включення об'єкта підвищеної безпеки до Реєстру такі відомості про об'єкт підвищеної безпеки:

- юридична адреса оператора;
- повне та скорочене найменування об'єкта підвищеної безпеки;
- фактична адреса об'єкта підвищеної безпеки;
- клас об'єкта підвищеної безпеки.

Оператор протягом 60 календарних днів повторно проводить ідентифікацію відповідно до вимог цього Порядку в разі:

- зміни форми власності або організаційно-правової форми оператора;
- зміни технічних характеристик об'єкта підвищеної безпеки, пов'язаних із змінами кількості та/або номенклатури небезпечних речовин;
- зміни найменування суб'єкта господарювання, який експлуатує об'єкт підвищеної безпеки;

– внесення змін до чинних або прийняття нових нормативно-правових актів у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної безпеки, у разі, коли це стосується порядку проведення ідентифікації об'єктів підвищеної безпеки або впливає на її результати.

Виключення об'єкта підвищеної безпеки з Реєстру здійснюється за рішенням ДСНС або її територіального органу на підставі розгляду наданих оператором матеріалів повторної ідентифікації об'єкта підвищеної безпеки, за результатами якої об'єкт не віднесений до об'єктів підвищеної безпеки відповідного класу, та представлення документів, які підтверджують:

- зміну технічних характеристик або кількості джерел безпеки у разі, коли на об'єкті підвищеної безпеки зменшена сумарна маса небезпечних речовин порівняно з нормативом порогової маси за індивідуальною масою або класом небезпечної речовини, внаслідок чого об'єкт не належить до будь-якого класу об'єктів підвищеної безпеки;
- ліквідацію або виведення з експлуатації (списання з балансу) об'єкта підвищеної безпеки.

Виключення об'єкта підвищеної безпеки з Реєстру ДСНС або її територіальним органом здійснюється також за результатами заходів державного нагляду (контролю) у разі виявлення факту ліквідації об'єкта підвищеної безпеки або у разі наявності в Єдиному державному реєстрі юридичних осіб, фізичних осіб – підприємців та громадських формувань інформації про припинення оператором господарської діяльності.

Про прийняте рішення щодо виключення об'єкта з Реєстру ДСНС або її територіальний орган повідомляє суб'єкту господарювання, місцевим держадміністраціям, органам місцевого самоврядування та органам державного нагляду (контролю), що здійснюють державний нагляд (контроль) у сфері діяльності, пов'язаної з об'єктами підвищеної безпеки, письмово протягом 20 робочих днів після одержання матеріалів повторної ідентифікації об'єкта підви-

щеної небезпеки та відповідних документів від оператора (одержання інформації за результатами заходів державного нагляду (контролю). У разі відмови щодо виключення об'єкта підвищеної небезпеки з Реєстру ДСНС або її територіальний орган надає оператору обґрунтовані мотиви для такої відмови.

Результати ідентифікації та розрахунки, на підставі яких вони проводилися, зберігаються оператором протягом усього часу експлуатації об'єкта підвищеної небезпеки, а в разі відчуження об'єкта, зміни форми власності або організаційно-правової форми оператора передаються суб'єкту господарювання – правонаступнику.

Суб'єкт господарювання несе відповідальність згідно із законодавством за своєчасне, повне і достовірне проведення ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки.

**Висновки.** Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки проводиться з метою оцінювання впливу небезпеки від небезпечних речовин на здоров'я людини, об'єкти інфраструктури та навколишнє природне середовище та визначає процедуру віднесення об'єктів, в яких використовується, переробляється, виготовляється, транспортується, зберігається одна або кілька небезпечних речовин, до об'єктів підвищеної небезпеки відповідного класу.

### **Питання для самоконтролю**

1. Мета ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки.
2. Хто проводить ідентифікацію?
3. Особливості проведення ідентифікації.
4. Дайте визначення «Державний електронний реєстр об'єктів підвищеної небезпеки».
5. Дайте визначення «категорія небезпеки».
6. Дайте визначення «клас небезпеки небезпечної речовини».
7. Дайте визначення «повідомлення про результати ідентифікації об'єкта підвищеної небезпеки».
8. Розкрийте сутність першого етапу ідентифікації.
9. Розкрийте сутність другого етапу ідентифікації.
10. Розкрийте сутність третього етапу ідентифікації.
11. Як визначається загальна маса небезпечної речовини, яка обирається для розрахунків?
12. Як визначається сумарна маса газу?
13. Як проводиться ідентифікація у разі коли на об'єкті відсутні певні небезпечні речовини із загальною масою, що перевищує або дорівнює відповідній пороговій масі?
14. Як робиться висновок, що об'єкт є об'єктом підвищеної небезпеки 1 класу?
15. Як робиться висновок, що об'єкт є об'єктом підвищеної небезпеки 2 класу?



16. Як робиться висновок, що об'єкт є об'єктом підвищеної небезпеки 3 класу?
17. Мета внесення до Реєстру інформації про ідентифікацію.
18. Назвіть основні розділи повідомлення за формою ОПН-1.

### **Рекомендована література**

19. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки» № 1030 від 13 вересня 2022 р.
20. Кодекс цивільного захисту України № 5403-VI від 02.10.2012 р.
21. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 15).
22. ДСТУ 2960-94. Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення.
23. Регламент європейського парламенту і ради (ЄС) № 1272/2008 від 16 грудня 2008 року про класифікацію, маркування та пакування речовин і сумішей, про внесення змін та про скасування Директив 67/548/ЄЕС та 1999/45/ЄС та про внесення змін до Регламенту (ЄС) № 1907/2006.

## ЛЕКЦІЯ 5

# КАТЕГОРУВАННЯ ПРИМІЩЕНЬ ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ І ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

### ПЛАН

5.1 Категорування приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою.

5.2 Роль та значення системи класифікації приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

5.3 Вибір та обґрунтування розрахункового варіанту. Розрахунок надлишкового тиску вибуху

### **5.1 Категорування приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою**

Система категорування виробничих приміщень, будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою, яка прийнята в Україні, визначає комплекс пожежно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення людей і збереження матеріальних цінностей. Встановлення тієї або іншої категорії формує протипожежні вимоги до планування і забудови території промислових підприємств, поверховості виробничих будівель, вогнестійкості застосовуваних будівельних конструкцій, величини площ пожежних відсіків, розташування і протяжності шляхів евакуації, застосування легкоскидаємих конструкцій.

*Категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою* приміщень, будинків і зовнішніх установок – класифікаційна характеристика їхньої вибухопожежної та пожежної небезпеки, що визначається кількістю та пожежовибухонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що знаходяться (обертаються) в них, з урахуванням особливостей технологічних процесів розміщених у них виробництв.

Класифікація об'єктів за вибухопожежною та пожежною небезпекою при використанні обох підходів здійснюється з урахуванням допустимого рівня їх пожежної небезпеки, а розрахунки критеріїв і показників її оцінки, у тому числі ймовірності пожежі (вибуху) – з урахуванням маси горючих і важкогорючих речовин і матеріалів, що знаходяться на об'єкті, вибухопожежонебезпечних зон, що утворюються при нормальних режимах ведення технологічних процесів і аварійних ситуаціях, можливих втрат для людей і матеріальних збитків.

Основою для встановлення нормативних вимог до конструктивних та планувальних рішень на промислових об'єктах, а також інших питань забезпечення їх вибухопожежобезпеки є визначення категорій приміщень, будинків виробничого і складського призначення та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Категорія виробничого і складського приміщення, будинку та зовнішньої установки за вибухопожежною та пожежною небезпекою є основним показником рівня їх пожежної небезпеки.

Категорійність за вибухопожежною та пожежною небезпекою обумовлює ступінь вогнестійкості будинку, граничні площі протипожежних відсіків, необхідність улаштування систем протипожежного захисту (пожежної сигналізації, пожежогасіння тощо).

Належність приміщень, будинків та зовнішніх установок до конкретної категорії, враховується при визначенні необхідних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки цих приміщень, будівель і установок. Необхідні заходи пожежної безпеки викладаються в нормативно-правових документах, які затверджуються в установленому порядку. При проектуванні та експлуатації об'єктів нормативні вимоги щодо забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки вказаних приміщень, будинків та зовнішніх установок враховуються відносно об'ємно-планувальних рішень, взаємного їх розміщення на генеральному плані, граничної поверховості (умовної висоти будинків), площ поверхів і протипожежних відсіків, конструктивних рішень, оснащення протипожежним інженерним обладнанням, спеціальної підготовки персоналу з питань пожежної безпеки тощо.

Правильний вибір категорії виробничих приміщень та будинків за вибухопожежною та пожежною небезпекою дозволяє встановити оптимальне співвідношення між безпекою виробництва та розміром капіталовкладень на його проектування та експлуатацію.

На теперішній час в Україні розроблено ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [1]. В якості критерію вибухопожежної небезпеки розрахункового надлишкового тиску вибуху  $\Delta P$  локальних вибухонебезпечних газів, парів – або пилоповітряних сумішей, що утворюються в об'ємі виробничих приміщень у результаті нормальної роботи технологічного обладнання або аварійної ситуації. Величина  $\Delta P$  показує, наскільки велика небезпека вибуху. Співставляючи розрахункове значення  $\Delta P$  з припустимою величиною, що вибирається з умови безпеки людей, незруйнованості основних будівельних конструкцій і технологічного устаткування, можна однозначно визначити, чи є приміщення вибухонебезпечним, чи тільки пожежонебезпечним. У якості припустимої величини надлишкового тиску прийнято значення 5 кПа. За даними результатів численних досліджень, цей тиск не призводить до руйнування основних будівельних конструкцій, а також технологічного обладнання. Такий тиск безпечний для людини.

## 5.2 Роль та значення системи класифікації приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою

ДСТУ Б В.1.1-36:2016 встановлює категорії приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою:

**категорії А і Б** – вибухопожежонебезпечні, критеріями призначення яких є наявність в аналізованих об'єктах речовин, спроможних вибухати і горіти з розрахунковим надлишковим тиском вибуху більшим, ніж 5 кПа;

**категорія В** – пожежонебезпечна, характеризується наявністю горючих матеріалів і речовин, спроможних вибухати і горіти або тільки горіти;

**категорія Г** – помірно пожежонебезпечна, характеризується відсутністю горючих матеріалів, але застосуванням високих температур;

**категорія Д** – знижено пожежонебезпечна, пов'язана з застосуванням негорючих матеріалів у холодному стані.

### *Принципи та положення системи категорювання*

При класифікації виробничих приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою враховується:

- агрегатний стан речовин і матеріалів;
- вибухопожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів ( $P_{max}$  тиск вибуху при стехіометричній концентрації горючих речовин у повітрі –  $C_{ст}$ , теплота згоряння –  $H_m$ ,  $t_{ен}$ , ЛЗР);

- реальні умови ведення технологічного процесу (тиск, температура, енергетичний потенціал вибухопожежонебезпеки технологічного блоку і т.п) для прогнозування найбільш несприятливого варіанта аварійної ситуації, при якому в приміщення може надійти найбільша кількість найбільш вибухопожежонебезпечної речовини;

- наявність технічних засобів контролю і захисту від утворення вибухонебезпечних концентрацій на випадок розгерметизації технологічного обладнання (сигналізатори довибухонебезпечних концентрацій, аварійна вентиляція, швидкодіючі системи відключення ушкодженого апарата, технічні рішення по обмеженню площі розливу рідини, аварійний злив рідини, аварійне стравлювання газу);

- реальні умови утворення зон вибухонебезпечних концентрацій;
- можливість появи джерела запалювання (приймається, що при аварійній ситуації вона дорівнює одиниці);

- надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  при займанні локального скупчення горючої суміші (він визначається з урахуванням процесу горіння і негерметичності приміщення);

- стійкість конструкцій будинку до надлишкового тиску вибуху.

Класифікацію виробничих приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 наведено у табл. 5.1

Таблиця 5.1 – Категорії приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) у приміщенні
А вибухопожежно-небезпечна	Горючі гази, легкозаймісті рідини з температурою спалаху не вище ніж 28 °С у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху у приміщенні, який перевищує 5 кПа, і/або речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і/або одним з одним, у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа.
Б вибухопожежно-небезпечна	Горючі пил і/або волокна, легкозаймісті рідини з температурою спалаху вище ніж 28 °С, горючі рідини такої кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пило-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа
В пожежно-небезпечна	Горючі гази, легкозаймісті, горючі і/або важкогорючі рідини, а також речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або одним з одним; тверді горючі і/або важкогорючі речовини і матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймістих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м <sup>2</sup> кожна перевищує 180 МДж·м <sup>-2</sup> . Якщо питома пожежна навантага не перевищує 180 МДж·м <sup>-2</sup> , то приміщення відноситься до категорії Д за умови виконання вимог пунктів 7.6.1, 7.6.5 та 7.6.8
Г помірно пожежно-небезпечна	Негорючі речовини і/або матеріали у гарячому, розпеченому і/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і/або полум'я; горючі гази, рідини і/або тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо
Д знижено пожежно-небезпечна	Речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорії приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В.

**Примітка 1** Площу окремих ділянок для твердих і рідких легкозаймістих, горючих та важкогорючих речовин і/або матеріалів, що складають пожежну навантагу, визначають за розмірами проекції їх площі розміщення (складування), а також площі розливу під час розрахункової аварії на горизонтальну поверхню підлоги. У разі якщо граничні відстані між окремими ділянками що містять складові пожежної навантаги менші за мінімальні, які наведені у табл. 6 та п.п. 7.6.5, 7.6.7 ДСТУ відповідно, то площу пожежної навантаги визначають як загальну площу цих ділянок з урахуванням площі між ділянками.

**Примітка 2** Якщо площа приміщення не перевищує 10 м<sup>2</sup> і в ньому знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) речовини і/або матеріали, зазначені в

примітці 1, що складають пожежну навантагу під час розрахункової аварії, віднесення даного приміщення до певної категорії здійснюється за результатами розрахунків, викладених в п.п. 7.2-7.6 ДСТУ. Розрахункова площа при визначенні питомої пожежної навантаги дорівнює фактичній площі приміщення.

**Примітка 3** Під час розрахунку пожежної навантаги за формулою (29), важкогорючі речовини і матеріали (відповідно до ДСТУ 8829:2019) включаються у розрахунок у тому випадку, якщо вони знаходяться разом з горючими речовинами і матеріалами. Якщо у приміщенні знаходяться тільки важкогорючі речовини і матеріали, приміщення відноситься до категорії Д.

Визначення категорій приміщень здійснюється шляхом послідовної перевірки приналежності приміщення до категорії від вищої – А до нижчої – Д. Послідовність визначення категорій приміщень полягає у виконанні таких етапів:

1. Вивчення:

- характеристики приміщення;
- запроєктованих технічних засобів протипожежного захисту;
- технологічного процесу виробництва.

2. Вибір розрахункового варіанта розгерметизації технологічного блока.

3. Збір і підготовка вихідних даних для розрахунку.

4. Розрахунок кількісних параметрів вибухопожежонебезпеки аварійної ситуації:

- прогнозування надходження в приміщення вибухопожежонебезпечних речовин при розгерметизації технологічного обладнання;
- нормування розмірів зон вибухонебезпечних концентрацій;
- визначення надлишкового тиску вибуху.

5. Перевірка приналежності приміщення від вищої категорії до нижчої.

6. Дослідження ефективності технічних рішень, що дозволяють знизити рівень вибухопожежонебезпеки приміщення.

### **5.3 Вибір та обґрунтування розрахункового варіанту.**

#### **Розрахунок надлишкового тиску вибуху**

Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначають для найсприятливішого щодо виникнення пожежі або вибуху періоду, виходячи з фізичного стану горючих речовин і матеріалів, які знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) в апаратах, приміщеннях, їх кількості, пожежовибухонебезпечних властивостей та особливостей технологічних процесів. Визначення пожежовибухонебезпечних властивостей речовин і матеріалів провадиться на підставі результатів випробувань або розрахунків за стандартними методиками з урахуванням параметрів стану (тиску, температури тощо).

Під час розрахунків допускається використання довідникових даних та даних з паспорта безпеки хімічної продукції (ДСТУ 30333:2009 [2]). У разі відсутності даних допускається приймати показники пожежовибухонебезпеки горючих сумішей речовин і матеріалів за найнебезпечнішим компонентом.

Кількість речовин, які потрапили до приміщення, і які можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пило- або пароповітряні суміші, визначається, виходячи з таких передумов:

а) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів відповідно до п.7.1.1. [1];

б) весь вміст апарата потрапляє до приміщення;

в) відбувається одночасно витікання речовин із трубопроводів, які живлять апарат за прямим і зворотним потоками протягом проміжку часу, який необхідний для перекривання трубопроводів.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів слід приймати таким, що дорівнює часу спрацювання (приведення в дію) системи автоматики відключення (перекривання) трубопроводів - згідно з паспортними даними установки (елементів відключення системи автоматики) якщо імовірність відмови системи автоматики не перевищує  $10^{-6}$  на рік або забезпечується резервування її елементів (але не більше 120 с); 300 с у разі ручного відключення (перекривання).

Не допускається використання технічних засобів для перекривання трубопроводів, для яких час перекривання перевищує наведені вище значення.

Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подавання газу (рідини) по трубопроводах у разі порушення електропостачання або спрацювання систем пожежної сигналізації та автоматичних систем пожежогасіння чи газоаналізаторів, або різкого падіння тиску у трубопроводах.

г) відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася; площа випаровування, у разі розливу на підлогу, визначається (за відсутності довідникових або експериментальних даних) виходячи з розрахунку, що 1 л розчинів, які містять 70% і менше (за масою) розчинників, розливається на площі  $0,5 \text{ м}^2$ , а інших рідин – на  $1 \text{ м}^2$  підлоги приміщення;

д) відбувається також випаровування рідини з поверхонь відкритих емкостей технологічного устаткування та з поверхонь, на які за технологічним процесом нанесена горюча рідина, що на час аварії знаходиться у стадії висихання;

е) тривалість випаровування рідини приймається рівною часу її повного випаровування, але не більше 3600 с.

Кількість пилу, який може утворювати вибухонебезпечну суміш, визначають, виходячи з таких передумов:

а) розрахунковій аварії передувало накопичення пилу у виробничому приміщенні, яке відбувалося в умовах нормального режиму роботи (наприклад, унаслідок виділення пилу з негерметичного виробничого устаткування);

б) у момент розрахункової аварії відбулася планова (ремонтні роботи) або позапланова розгерметизація одного з технологічних апаратів, у результаті якої відбувся аварійний викид у приміщення усього пилу, що знаходився в апараті.

Вільний об'єм приміщення визначають як різницю між геометричним об'ємом приміщення з урахуванням підвісних стель та фальшпідлог у разі їх наявності і об'ємом, який займає технологічне устаткування. Якщо вільний об'єм приміщення визначити неможливо, допускається приймати його рівним 80% від геометричного об'єму приміщення.

Якщо під час розрахункової аварії можливе виділення ГГ, парів ЛЗР та ГР, горючих пилу і/або волокон, надлишковий тиск вибуху у приміщенні слід

визначити за обраним найбільш несприятливим варіантом аварії або періодом нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість речовин і матеріалів, найбільш небезпечних щодо наслідків вибуху, що містяться у одному апараті.

### 5.3.1 Розрахунок надлишкового тиску вибуху для горючих газів, парів легкозаймистих та горючих рідин

Надлишковий тиск вибуху ( $\Delta P$ , кПа) для індивідуальних горючих речовин, які складаються із атомів  $C, H, O, Cl, Br, I, F, N$ :

$$\Delta P = (P_{max} - P_0) \left( \frac{m \cdot Z}{V_{вільн} \cdot \rho_{Г,П}} \cdot \frac{100}{C_{СТ}} \cdot \frac{1}{K_H} \right) \quad (5.1)$$

де  $P_{max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- або пароповітряної суміші у замкнутому об'ємі. У разі відсутності довідникових даних, дозволено приймати  $P_{max}$  таким, що дорівнює 900 кПа;

$P_0$  – атмосферний тиск, кПа (дозволено приймати таким, що дорівнює 101,3 кПа);

$m$  – маса ГГ та/або парів ЛЗР та ГР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до об'єму приміщення, кг;

$Z$  – коефіцієнт участі ГГ та/або парів ЛЗР та ГР у вибуху. Дозволено приймати значення  $Z$  відповідно до табл. 2.

$V_{вільн}$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$\rho_{Г,П}$  – густина ГГ або парів ЛЗР та ГР за розрахункової температури  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>, що визначають за формулою:

$$\rho_{Г,П} = \frac{M}{V_0(1+0,00367t_p)} \quad (5.2)$$

де  $M$  – молярна маса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;

$V_0$  – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;

$t_p$  – розрахункова температура, °С;

$C_{ст}$  – стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР та ГР, % (об.), що визначають за формулою:

$$C_{ст} = \frac{100}{1+4,84 \cdot \beta}, \quad (5.3)$$

де 
$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_O}{2} \quad (5.4)$$

$\beta$  – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння (під час розрахунку  $\beta$  атоми азоту не враховують);

$n_c, n_H, n_O, n_x$  – число атомів  $C, H, O$  та галогенів у молекулі ГГ або парів ЛЗР та ГР;

$K_H$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадіабатичність процесу горіння. Дозволено приймати  $K_H$  рівним 3.



Надлишковий тиск вибуху ( $\Delta P$ , кПа) для індивідуальних горючих речовин крім тих, для яких надлишковий тиск вибуху визначається за формулою (5.1), а також для сумішей:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot z}{V_{\text{вільн.}} \cdot \rho_{\text{пов}} \cdot C_p \cdot T_0 \cdot K_H} \quad (5.5)$$

де  $H_T$  – теплота згоряння, Дж·кг<sup>-1</sup>;  
 $\rho_{\text{пов}}$  – густина повітря до вибуху за початкової температури  $T_0$ , кг·м<sup>-3</sup>;  
 $C_p$  – теплоємність повітря, Дж·(кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>) (Дозволено приймати рівною 1,01·10<sup>3</sup> Дж·(кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>));  
 $T_0$  – початкова температура повітря, К.

Коефіцієнт  $K$ , який враховує роботу вентиляції:

$$K = A \cdot \tau + 1, \quad (5.6)$$

де  $A$  – кратність повітрообміну, с<sup>-1</sup>;  
 $\tau$  – тривалість потрапляння ГГ та/або парів ЛЗР і ГР до об'єму приміщення, с (приймається за 7.1.2 ДСТУ).

Масу горючого газу  $m$ , кг, що потрапив до приміщення під час розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m = (V_o + V_T) \cdot \rho_G, \quad (5.7)$$

де  $V_o$  – об'єм ГГ, що вийшов з апарату, м<sup>3</sup>;  
 $V_T$  – об'єм ГГ, що вийшов з трубопроводів, м<sup>3</sup>;  
 $\rho_G$  – густина ГГ за розрахункової температури  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>.  
 При цьому

$$V_o = \frac{P_1}{P_o} \cdot V = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \quad (5.8)$$

де  $P_1$  – тиск в апараті, кПа;  
 $V$  – об'єм апарата, м<sup>3</sup>;  
 $P_o$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (5.9)$$

де  $V_{1T}$  – об'єм ГГ, що вийшов з трубопроводів до їх перекривання, м<sup>3</sup>;  
 $V_{2T}$  – об'єм ГГ, що вийшов з трубопроводу після їх перекривання, м<sup>3</sup>;

$$V_{1T} = q \cdot \tau n, \quad (5.10)$$

де  $q$  – витрата ГГ, яку визначають згідно з технологічним регламентом залежно від тиску в трубопроводі, його діаметра, температури газового середовища тощо, м<sup>3</sup>/с<sup>-1</sup>;

$\tau_n$  – час перекивання, с.

$$V_{2T} = \pi \frac{P_2}{P_0} \cdot (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n) = 0,01\pi \cdot P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n) \quad (5.11)$$

де  $P_2$  – максимальний тиск газу у трубопроводі за технологічним регламентом, кПа;

$r$  – внутрішній радіус трубопроводів, м;

$L$  – довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувки, м;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

Масу парів ЛЗР та ГР,  $m$ , кг, які потрапили до приміщення за наявності кількох джерел випаровування, визначають за формулою:

$$m = m_p + m_{\epsilon МК} + m_{\epsilon В}, \quad (5.12)$$

де  $m_p$  – маса рідини, що випарувалася з поверхні рідини, що розлилася, кг;

$m_{\epsilon МК}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь відкритих ємностей технологічного устаткування, кг;

$m_{\epsilon В}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь зі свіжонанесеною горючою рідиною, що на час аварії знаходиться у стадії висихання, кг.

За цих умов кожний доданок  $m_p$ ,  $m_{\epsilon МК}$ ,  $m_{\epsilon В}$  у формулі (12) визначають за формулою:

$$m = W \cdot F_{\epsilon} \cdot \tau_{\epsilon}, \quad (5.13)$$

де  $W$  – інтенсивність випаровування,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$F_{\epsilon}$  – площа випаровування,  $\text{м}^2$ ;

$\tau_{\epsilon}$  – тривалість випаровування ЛЗР та ГР до приміщення, с.

Інтенсивність випаровування  $W$ ,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ , розраховують за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_n, \quad (5.14)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який приймають відповідно до таблиці 1 залежно від швидкості повітряного потоку, що створюється вентиляцією над поверхнею випаровування, та температури повітряного потоку над поверхнею випаровування (у разі відсутності вентиляції  $\eta$  дорівнює 1);

$M$  – молярна маса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;

$P_n$  – тиск насиченої пари, кПа, за розрахунковою температурою рідини, визначений за довідниковими даними, або за формулами:

$$P_n = 0,133 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{C_a + t_p}\right)}, \quad (5.15)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C_a$  – константи Антуана (довідникові дані), визначені, коли тиск насичених парів вимірюють у мм.рт.ст.

$$P_H = 10^{\left(A - \frac{B}{C_a + t_p}\right)} \quad (5.16)$$

де  $A, B, C_a$  – константи Антуана (довідникові дані), визначені, коли тиск насичених парів вимірюють у кПа.

$t_p$  – розрахункова температура рідини, °С.

### 5.3.2 Розрахунок надлишкового тиску вибуху для горючого пилу

Розрахунок надлишкового тиску вибуху для горючого пилу  $\Delta P$ , кПа, обчислюють за формулою (5.5), де  $Z$  – коефіцієнт участі пилу в завислому стані (стані аерозолі) у вибуху, розраховують за формулою:

$$Z = 0,5 \cdot M_{кр}, \quad (5.16)$$

де  $M_{кр}$  – масова частка частинок пилу розміром менше критичного. У разі відсутності можливості отримання даних щодо масової частки частинок пилу розміром частинок менше критичного дозволено приймати  $Z = 0,5$ .

Розрахункову масу горючого пилу,  $m_{zn}$ , кг, що знаходиться у стані аерозолі в об'ємі приміщення в результаті розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m_{zn} = \min \left\{ \begin{array}{l} m_{\text{вз}} + m_{\text{ав}} \\ \frac{\rho_{cm} V_{\text{ав}}}{Z} \end{array} \right., \quad (5.17)$$

де  $m_{\text{вз}}$  – розрахункова маса частини відкладеного у приміщенні пилу, що перейшов у стан аерозолі, кг;

$m_{\text{ав}}$  – розрахункова маса горючого пилу, що потрапив до об'єму приміщення з апарата у результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, кг;

*Примітка.* В формулі (5.17) приймають мінімальне значення маси горючого пилу, що була обчислена за двома способами.

$\rho_{cm}$  – стехіометрична концентрація горючого пилу в аерозолі,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$V_{\text{ав}}$  – розрахунковий об'єм пилоповітряної хмари, утвореної при аварійній ситуації в об'ємі приміщення,  $\text{м}^3$ .

За відсутності можливості отримання відомостей для розрахунку  $V_{\text{ав}}$  допускається приймати:

$$m_{\text{гп}} = m_{\text{зв}} + m_{\text{ав}} \quad (5.18)$$

Розрахункову масу частини відкладеного у приміщенні горючого пилу  $m_{\text{зв}}$ , кг, що перейшов у стан аерозолі, визначають за формулою:

$$m_{\text{зв}} = K_{\text{зв}} \cdot m_n, \quad (5.19)$$

де  $K_{\text{зв}}$  – частка горючого пилу, що відклався у приміщенні, який здатний перейти у стан аерозолі в результаті розрахункової аварії. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{\text{зв}}$ , допускається приймати  $K_{\text{зв}} = 0,9$ ;

$m_n$  – маса горючого пилу, що відклався у приміщенні до моменту розрахункової аварії, кг.

Розрахункову масу горючого пилу  $m_{ав}$ , кг, що потрапив до об'єму приміщення з апарата у результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, визначають за формулою:

$$m_{ав} = (m_{ап} + q \cdot \tau_n) \cdot K_n \quad (5.20)$$

де  $m_{ап}$  – маса горючого пилу, що потрапив до приміщення з апарата, кг;

$q$  – витрата, з якою продовжують надходити пилоподібні речовини до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_n$  – розрахунковий час перекривання, с;

$K_n$  – коефіцієнт пилення, що представляє собою відношення маси пилу в стані аерозолі до всієї маси пилу, який вийшов з апарата до приміщення. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_n$ , дозволено приймати:

а) для пилу з дисперсністю не менш ніж 350 мкм  $K_n = 0,5$ ;

б) для пилу з дисперсністю менш ніж 350 мкм  $K_n = 1,0$ .

Масу горючого пилу  $m_n$ , кг, що відклався у приміщенні до моменту аварії, визначають за формулою:

$$m_n = K_r \cdot (1 - K_{пр}) \cdot (m_1 + m_2), \quad (5.21)$$

де  $K_r$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу;

$m_1$  – маса пилу, що осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між генеральними прибираннями, кг;

$m_2$  – маса пилу, що осідає на доступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між поточними прибираннями, кг;

$K_{пр}$  – коефіцієнт ефективності пилоприбирання, що приймають у разі прибирання пилу вручну:

– сухого прибирання – 0,6;

– вологого прибирання – 0,7.

У разі застосування автоматичних засобів пилоприбирання коефіцієнт ефективності пилоприбирання  $K_{пр}$  становить:

– для рівної підлоги – 0,9;

– для підлоги з вибоїнами (до 5 % площі) – 0,7.

Під важкодоступними для прибирання розуміють такі поверхні у виробничих приміщеннях, очищення яких здійснюють тільки під час генеральних прибирань пилу. Під доступними для прибирання розуміють такі поверхні у виробничих приміщеннях, пил з яких видаляють у процесі поточних прибирань (щозміни, щодоби тощо).

Масу пилу  $m_i$ , кг ( $i=1$  (важкодоступні поверхні);  $i=2$  (доступні поверхні)), що осідає на різних поверхнях у приміщенні за період між прибираннями, визначають за формулою:

$$m_i = M_i \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_i, (i = 1,2) \quad (5.22)$$

де  $M_1 = \sum_{j=1}^n M_{1j}$  – маса пилю, що потрапляє до об’єму приміщення за період часу між генеральними прибираннями пилю, кг;

$M_{1j}$  – маса пилю, що виділяється одиницею устаткування, яке пилить, за період часу між генеральними прибираннями пилю, кг;

$M_2 = \sum_{j=1}^n M_{2j}$  – маса пилю, що потрапляє до об’єму приміщення за період часу між поточними прибираннями пилю, кг;

$M_{2j}$  – маса пилю, що виділяється одиницею устаткування, яке пилить, за період часу між поточними прибираннями пилю, кг;

$\alpha$  – частка пилю, що потрапляє до об’єму приміщення і який видаляється витяжними вентиляційними системами. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $\alpha$ , приймають  $\alpha = 0$ ;

$\beta_1, \beta_2$  – частки пилю, який потрапляє до об’єму приміщення та осідає відповідно на важкодоступних і доступних для прибирання поверхнях приміщення ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

У разі відсутності експериментальних даних щодо значень коефіцієнтів  $\beta_1$  та  $\beta_2$ , дозволено приймати  $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$ .

Значення  $M_i$  ( $i = 1; 2$ ) може бути також визначено експериментально (або за аналогією з виробництвами, що експлуатуються) у період максимального завантаження устаткування за формулою:

$$M_i = \sum_{j=1}^n (G_{ij} \cdot F_{ij}) \cdot \tau_i, (i = 1,2) \quad (5.23)$$

де  $G_{1j}, G_{2j}$  – інтенсивність відкладення пилю відповідно на важкодоступних  $F_{1j}$  ( $\text{м}^2$ ) і доступних  $F_{2j}$  ( $\text{м}^2$ ) поверхнях,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_1, \tau_2$  – проміжки часу відповідно між генеральними і поточними прибираннями пилю, с.

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  для складних вибухонебезпечних сумішей, які містять ГГ, пари ЛЗР та ГР і/або горючий пил, визначають за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (5.24)$$

де  $\Delta P_1$  – тиск вибуху, що обчислений для ГГ, парів ЛЗР та ГР;

$\Delta P_2$  – тиск вибуху, що обчислений для горючого пилю.

### 5.3.3 Розрахунок надлишкового тиску $\Delta P$ , що розвивається у разі займання газо-, пароповітряних сумішей

Величину розрахункового надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі займання газо-, пароповітряних сумішей, визначають за формулою:

$$\Delta P = P_0(0,8m_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5m_{\text{пр}}^{0,66}/r^3), \quad (5.25)$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа;

$r$  – відстань від геометричного центру зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м;

Приведена маса ГГ та/або парів ЛЗР та ГР, кг, обчислюється за формулою:

$$m_{\text{пр}} = (Q_{\text{зг}}/Q_0) \cdot m \cdot Z, \quad (5.26)$$

де  $Q_{\text{зг}}$  – питома теплота згоряння ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$Z$  – коефіцієнт участі ГГ та/або парів ЛЗР та ГР у горінні, який дозволено приймати рівним 0,1;

$Q_0$  – константа, що дорівнює  $4,52 \cdot 10^6$  Дж·кг<sup>-1</sup>;

$m$  – маса ГГ ( $m_g$ ) та/або парів ЛЗР та ГР ( $m_n$ ), які потрапили до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг.

**Висновки.** Система категорювання виробничих приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою визначає комплекс пожежно-технічних заходів, спрямованих на убезпечення людей і збереження матеріальних цінностей. Для визначення належності приміщень до вибухонебезпечних категорій А і Б, необхідно володіти методикою розрахунку надлишкового тиску вибуху.

### Питання для самоконтролю

1. Дати визначення терміну «Категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою»?
2. Наведіть послідовність етапів визначення категорій приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою.
3. Дати визначення категорій приміщення за вибухопожежною небезпекою.
4. Як розрахувати масу парів рідини  $m$ , які потрапили до приміщення при наявності декількох джерел випаровування?
5. Дати визначення категорії приміщення В за вибухопожежною небезпекою.

### Рекомендована література

1. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».
2. ДСТУ ГОСТ 30333:2009 Паспорт безпечності хімічної продукції. Загальні вимоги.
3. ДСТУ 8829:2019 «Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація».

## ЛЕКЦІЯ 6

### ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЙ БУДИНКІВ ТА ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ І ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

#### ПЛАН

6.1 Методика визначення категорії будівель та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою

6.2 Вибір та обґрунтування розрахункового варіанту

#### **6.1 Методика визначення категорії будівель та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою**

Прийнята в нашій країні система категорювання будівель і зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою визначає комплекс пожежно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей і збереження матеріальних цінностей [1]. Встановлення тієї або іншої категорії формує протипожежні вимоги до планування і забудови території промислових підприємств, поверховості виробничих будівель, вогнестійкості застосовуваних будівельних конструкцій, величини площ пожежних відсіків, розташування і протяжності шляхів евакуації, застосування легкоскидаємих конструкцій і т.д. Наведений перелік заходів свідчить про важливість правильного визначення категорії, оскільки помилки в цій області на багато років уперед визначають недостатність або надмірність заходів щодо попередження пожеж і пожежного захисту.

#### *Категорії будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною небезпекою*

В окремих випадках за вибухопожежною і пожежною небезпекою категорюються не весь будинок, а його протипожежні відсіки, які є частинами будинку та відокремлені один від одного протипожежною стіною по всій висоті та ширині (або довжині) будинку. При цьому такі протипожежні стіни повинні спиратися на фундаменти або фундаментні балки і перетинати всі конструкції та поверхи будинку.

1. Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії А, якщо в ньому сумарний об'єм приміщень категорії А перевищує 5% загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

2. Будинок або протипожежний відсік відносять до категорії Б, якщо одночасно виконуються дві умови:

- будинок або протипожежний відсік не відносять до категорії А;
- сумарний об'єм приміщень категорій А і Б перевищує 5 % загальному об'єму будинку або протипожежного відсіку.

3. Будинок або протипожежний відсік відноситься до категорії В, якщо одночасно виконуються дві умови:

- будинок або протипожежний відсік не відноситься до категорій А або Б;
- сумарний об'єм приміщень категорій А, Б і В перевищує 5 % (10%, якщо в будинку відсутні приміщення категорій А і Б) загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

4. Будинок або протипожежний відсік відносять до категорії Г, якщо одночасно виконуються дві умови:

- будинок або протипожежний відсік не відноситься до категорій А, Б або В;
- сумарний об'єм приміщень категорій А, Б, В і Г перевищує 5 % загального об'єму будинку або протипожежного відсіку.

5. Будинок або протипожежний відсік відносять до категорії Д, якщо він не відноситься до категорій А, Б, В або Г.

*Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою*

Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою приймають відповідно до табл. 6 [1]. Визначення категорій зовнішніх установок слід здійснювати шляхом послідовної перевірки їхньої належності до категорій, які наведені у табл. 6, від найбільш вибухопожежонебезпечної категорії А<sub>3</sub> до найменш небезпечної категорії Д<sub>3</sub>. У табл. 6 одними з критеріїв, за якими зовнішня установка відноситься до певної категорії, є горизонтальний розмір зони (відстань від апарата (установки) до краю зони), що обмежує газо-, пароповітряні суміші з концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{нкмп}$ ), розрахунковий надлишковий тиск, що розвивається у разі займання газо-, паро- або пилоповітряних сумішей, та інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі.

Таблиця 6 – Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [1]

Категорія зовнішньої установки	Критерії віднесення зовнішньої установки до тієї або іншої категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою
1	2
А <sub>3</sub> вибухопожежонебезпечна	Установка відноситься до категорії А <sub>3</sub> , якщо в ній знаходяться (обертуються) горючі гази; легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28°C; речовини і/або матеріали, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним. При цьому горизонтальний розмір зони, що обмежує газо-, пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{нкмп}$ ), перевищує 30 м (даний критерій застосовується тільки для горючих газів і парів) і/або розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається в разі займання газо-, пароповітряних сумішей, і/або під час вибуху речовин і/або матеріалів, які здатні вибухати і горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним, перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки.



1	2
Б <sub>3</sub> вибухопо- жежонебез- печна	Установка відноситься до категорії Б <sub>3</sub> , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі пил і/або волокна; легкозаймисті рідини з температурою спалаху більше 28°C; горючі рідини. При цьому горизонтальний розмір зони, що обмежує пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{нкмт}$ ), перевищує 30 м (даний критерій застосовується тільки для горючих парів) та/або розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається у разі займання пило-, пароповітряних сумішей перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки.
В <sub>3</sub> пожежоне- безпечна	Установка відноситься до категорії В <sub>3</sub> , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази, легкозаймисті, горючі і/або важкогорючі рідини, тверді горючі і/або важкогорючі речовини та/або матеріали (включно з горючим пилом та/або волокнами), а також речовини та/або матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря та/або один з одним, за умови, що установка не відноситься до категорій А <sub>3</sub> або Б <sub>3</sub> . При цьому інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі перевищує 4 кВт·м <sup>-2</sup> на відстані 30 м від зовнішньої установки.
Г <sub>3</sub> помірно пожежонебез- печна	Установка відноситься до категорії Г <sub>3</sub> , якщо в ній знаходяться (обертаються) негорючі речовини та/або матеріали в гарячому, розпеченому та/або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор та/або полум'я, а також горючі гази, рідини та/або тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.
Д <sub>3</sub> знижено пожежонебез- печна	Установка відноситься до категорії Д <sub>3</sub> , якщо вона не відноситься до категорій А <sub>3</sub> , Б <sub>3</sub> , В <sub>3</sub> або Г <sub>3</sub> .

## 6.2 Вибір та обґрунтування розрахункового варіанту

Як розрахунковий варіант слід обирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість найбільш небезпечних речовин чи матеріалів. Кількість речовин, які надійшли, і які можуть утворювати горючі газоповітряні або пароповітряні суміші, визначається, виходячи з наступних передумов:

а) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів відповідно до п. 10.1.1.1 [1];

б) весь вміст апарата потрапляє до навколишнього простору;

в) відбувається одночасно витікання речовин із трубопроводів, які живлять апарат за прямим і зворотним потоками, протягом проміжку часу, який необхідний для перекивання трубопроводів.

Розрахунковий час перекивання трубопроводів визначається в кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, і має бути мінімальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої, характеру технологічного процесу та виду розрахункової аварії.

Розрахунковий час перекривання трубопроводів слід приймати рівним:

– часу спрацювання (приведення в дію) системи автоматики відключення (перекривання) трубопроводів – згідно з паспортними даними установки, якщо ймовірність відмови системи автоматики не перевищує  $10^{-6}$  на рік або забезпечується резервування її елементів (але не більше 120 с);

– 120 с, якщо ймовірність відмови системи автоматики перевищує  $10^{-6}$  на рік та у системі автоматики не забезпечується резервування її елементів;

– 300 с у разі ручного відключення (перекривання).

При цьому не допускається використання технічних засобів для перекривання трубопроводів, для яких час перекривання перевищує наведені вище значення. Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подавання газу (рідини) у разі порушення електропостачання або при спрацюванні автоматичної пожежної сигналізації;

Маса горючого газу  $m_g$ , кг, що потрапив до навколишнього простору під час розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m_g = (V_a + V_T) \cdot \rho_g, \quad (6.1)$$

де  $V_a$  – об'єм газу, що вийшов з апарата,  $\text{м}^3$ ;

$V_T$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_g$  – густина газу,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ .

При цьому:

$$V_a = \frac{P_1}{P_0} \cdot V = 0,01 \cdot P_1 \cdot V \quad (6.2)$$

де  $P_1$  – тиск газу в апараті, кПа;

$V$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

$$V_T = V_{1T} + V_{2T}, \quad (6.3)$$

де  $V_{1T}$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводів до його перекривання,  $\text{м}^3$ ;

$V_{2T}$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводів після його перекривання,  $\text{м}^3$ ;

$$V_{1T} = q \cdot \tau_{\Pi} \quad (6.4)$$

де  $q$  – витрати газу, які відповідно до технологічного регламенту залежать від тиску в трубопроводі, його діаметра, температури газового середовища тощо,  $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_{\Pi}$  – час перекривання, який визначають за п. 10.1.1.2 [1], с.

$$V_{2T} = \pi \frac{P_2}{P_0} \cdot (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n) = 0,01\pi \cdot P_2 (r_1^2 L_1 + r_2^2 L_2 + \dots + r_n^2 L_n) \quad (6.5)$$

де  $P_2$  – максимальний тиск у трубопроводі за технологічним регламентом, кПа;

$r$  – внутрішній радіус трубопроводів, м;

$L$  – довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувки, м;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа.

Маса парів рідини  $m$ , кг, які надійшли до навколишнього простору при наявності декількох джерел випаровування (поверхня розлитої рідини, свіжопофарбована поверхня, відкриті ємності тощо), визначається за формулою:

$$m = m_p + m_{\text{емк}} + m_{\text{св}} + m_{\text{пер}}, \quad (6.6)$$

де  $m_p$  – маса рідини, що випарувалася з поверхні розливу, кг;

$m_{\text{емк}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь відкритих ємностей, кг;

$m_{\text{св}}$  – маса рідини, що випарувалася із свіжопофарбованих поверхонь, кг;

$m_{\text{пер}}$  – маса рідини, що випарувалася у навколишній простір у випадку її перегрівання, кг.

При цьому, кожен із складових ( $m_p$ ,  $m_{\text{емк}}$ ,  $m_{\text{св}}$ ) у формулі (6.6) визначають з рівняння:

$$m_i = W \cdot F_v \cdot \tau_v \quad (6.7)$$

де  $W$  – інтенсивність випаровування,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;

$F_v$  – площа випаровування,  $\text{м}^2$ , що визначається залежно від маси рідини  $m_{\text{п}}$ , яка вийшла у навколишній простір;

$\tau_v$  – тривалість надходження парів легкозаймистих та горючих рідин до навколишнього простору, с.

Масу парів перегрітої рідини  $m_{\text{пер}}$  у кг, що випарилася до навколишнього простору, визначають, якщо  $T_a > T_{\text{кип}}$  за формулою:

Величину  $m_{\text{пер}}$  визначають при  $T_a > T_{\text{кип}}$  за формулою:

$$m_{\text{пер}} = \min \left\{ 0,8m_{\text{п}}; \frac{2C_p \cdot (T_a - T_{\text{кип}})}{L_{\text{вип}}} \cdot m_{\text{пер}} \right\}, \quad (6.8)$$

де  $m_{\text{п}}$  – маса перегрітої рідини, що вийшла назовні, кг;

$C_p$  – питома теплоємність рідини при температурі перегрівання рідини  $T_a$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;

$T_a$  – температура перегрітої рідини відповідно до технологічного регламенту в технологічному апараті або обладнанні, К;

$T_{\text{кип}}$  – нормальна температура кипіння рідини, К;

$L_{\text{вип}}$  – питома теплота випаровування рідини при температурі перегріву рідини  $T_a$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Якщо розрахункова аварійна ситуація пов'язана з можливим потраплянням рідини у розпиленому стані, то вона має бути врахована у формулі (6.6) шляхом введення додаткової складової, що враховує загальну масу рідини, яка надійшла від пристроїв, що розпилюють, виходячи з тривалості їхньої роботи.

Масу  $m_{\text{п}}$  рідини, що вийшла, кг, визначають за наведеною вище формулою.

Інтенсивність випаровування  $W$ ,  $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$ , визначають за довідниковими та експериментальними даними. Для ЛЗР, не нагрітих вище температури навколишнього середовища, у разі відсутності даних, допускається розраховувати  $W$  за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_{\text{н}}, \quad (6.9)$$

де  $M$  – молярна маса,  $\text{кг}\cdot\text{моль}^{-1}$ ;

$P_{\text{н}}$  – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини, яка розрахована за довідниковими даними відповідно до вимог п.5.3 [1], кПа.

Для зріджених вуглеводневих газів (ЗВГ), у разі відсутності даних, допускається розраховувати питому масу випаруваного ЗВГ  $m_{\text{звг}}$  випаруваного з проливу,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ , за формулою:

$$m_{\text{звг}} = \frac{M}{L_{\text{вип}}} \cdot (T_0 - T_{\text{звг}}) \cdot (2 \cdot \lambda_{\text{ТМ}} \cdot \sqrt{\frac{\tau}{\pi \cdot a}} + \frac{5,1\sqrt{Re} \cdot l_{\text{п}} \cdot \tau_{\text{в}}}{d}) \quad (6.10)$$

де  $M$  – молярна маса ЗВГ,  $\text{кг}\cdot\text{моль}^{-1}$ ;

$L_{\text{вип}}$  – мольна теплота випаровування ЗВГ при початковій температурі ЗВГ  $T_{\text{Г}}$ ,  $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ;

$T_0$  – початкова температура матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ, К;

$T_{\text{звг}}$  – початкова температура ЗВГ, К;

$\lambda_{\text{ТМ}}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ;

$a = \frac{\lambda_{\text{ТМ}}}{C_{\text{ТМ}} \cdot \rho_{\text{ТМ}}}$  – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ ;

$C_{\text{ТМ}}$  – теплоємність матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ;

$\rho_{\text{ТМ}}$  – густина матеріалу, на поверхню якого розливається ЗВГ,  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ ;

$\tau$  – поточний час, с, який приймається рівним часу повного випаровування ЗВГ, але не більше 3600 с;

$Re = \frac{U \cdot d}{\nu_n}$  – число Рейнольдса;

$U$  – швидкість повітряного потоку,  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ;

$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{г}}}{\pi}}$  – характерний розмір розливу ЗВГ, м;

$\nu_n$  – кінематична в'язкість повітря,  $\text{м}^2\cdot\text{с}^{-1}$ ;

$\lambda_n$  – коефіцієнт теплопровідності повітря,  $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ .

Формула (6.10) справедлива для ЗВГ з температурою  $T_{\text{звг}} \leq T_{\text{кин}}$ . При температурі ЗВГ  $T_{\text{Г}} > T_{\text{кин}}$  додатково розраховується маса перегрітих ЗВГ  $m_{\text{пер}}$  за формулою (40 [1]).

*Розрахунок горизонтальних розмірів зон, що обмежують газо- і пароповітряні суміші з концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я (далі –  $C_{НКМП}$ ), у разі аварійного потрапляння до навколишнього простору горючих газів і парів легкозаймистих рідин, не нагрітих вище температури навколишнього середовища.*

Горизонтальні розміри зони, м, які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я ( $C_{НКМП}$ ), обчислюють за формулами:

для горючих газів (ГГ):

$$R_{НКМП} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_g}{\rho_g \cdot C_{НКМП}} \right)^{0,333}, \quad (6.11)$$

для парів легкозаймистих рідин (ЛЗР), не нагрітих вище температури оточуючого середовища:

$$R_{НКМП} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left( \frac{P_n}{C_{НКМП}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m_n}{\rho_n \cdot P_n} \right)^{0,333}, \quad (6.12)$$

$$\rho_{г,п} = \frac{M}{V_o \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (6.13)$$

де  $m_g$  – маса ГГ, що надійшли до відкритого простору під час аварійної ситуації, кг;

$\rho_g$  – густина ГГ при розрахунковій температурі й атмосферному тиску, кг·м<sup>-3</sup>;

$m_n$  – маса парів ЛЗР, що надійшли до відкритого простору за час повного випаровування, але не більше 3600 с, кг;

$\rho_n$  – густина парів ЛЗР при розрахунковій температурі й атмосферному тиску, кг·м<sup>-3</sup>;

$P_n$  – тиск насичених парів ЛЗР при розрахунковій температурі, кПа;

$K$  – коефіцієнт, що приймається рівним  $K = \tau/3600$  для ЛЗР;

$\tau$  – тривалість надходження парів ЛЗР до відкритого простору, с;

$C_{НКМП}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я ГГ або парів ЛЗР, % (об.);

$M$  – молярна маса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;

$V_o$  – мольний об'єм, рівний 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;

$t_p$  – розрахункова температура, °С.

За розрахункову температуру слід приймати максимально можливу температуру повітря у відповідній кліматичній зоні або максимально можливу температуру повітря за технологічним регламентом з урахуванням можливого підвищення температури у випадку аварійної ситуації. Якщо такого значення розрахункової температури  $t_p$ , за будь-якими причинами визначити не вдається, допускається приймати її рівною 61 °С.

За початок відліку горизонтального розміру зони приймають зовнішні габаритні розміри апаратів, установок, трубопроводів тощо. У всіх випадках значення  $R_{нкмл}$  повинно бути не менше 0,3 м для ГГ і ЛЗР.

*Розрахунок надлишкового тиску та імпульсу хвилі тиску у разі згоряння сумішей горючих газів і парів з повітрям у відкритому просторі*

Виходячи з розглянутого варіанту аварії, визначається маса  $m$ , кг, горючих газів і (або) парів, що потрапили до атмосфери з технологічного апарата. Величину надлишкового тиску  $\Delta P$ , кПа, що розвивається у разі згоряння газопароповітряних сумішей, визначають за формулою:

$$\Delta P = P_0(0,8m_{пр}^{0,33}/r + 3m_{пр}^{0,66}/r^2 + 5m_{пр}^{0,66}/r^3), \quad (6.14)$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101,3 кПа);

$r$  – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, м;

$m_{пр}$  – приведена маса ГГ і/або парів ЛЗР та ГР, кг, обчислюється за формулою:

$$m_{пр} = (Q_{зг}/Q_0) \cdot m \cdot Z, \quad (6.15)$$

де  $Q_{зг}$  – питома теплота згоряння газу або пари, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$Z$  – коефіцієнт участі горючих газів і парів у горінні, який допускається приймати рівним 0,1;

$Q_0$  – константа, рівна  $4,52 \cdot 10^6$  Дж·кг<sup>-1</sup>;

$m$  – маса горючих газів і (або) парів, які надійшли в результаті аварії до навколишнього простору, кг.

Величину імпульсу хвилі тиску  $i$ , Па·с, обчислюють за формулою:

$$i = 123 \cdot m_{пр}^{0,66}/r, \quad (6.16)$$

де  $m_{пр}$  – приведена маса газу або пари, кг;

$r$  – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, м.

*Метод розрахунку значень критеріїв пожежної небезпеки для горючого пилу*

Як розрахунковий варіант аварії для визначення критеріїв пожежної небезпеки для горючого пилу слід вибрати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, при якому в горінні пилоповітряної суміші бере участь найбільша кількість речовин або матеріалів, які є найбільш небезпечні щодо наслідків такого горіння. Кількість речовин, які потрапили до приміщення з установки і можуть утворювати горючі пилоповітряні суміші, визначають, виходячи з того, що в момент розрахункової аварії відбулася планова (ремонтні роботи) або раптова розгерметизація одного з технологічних апаратів, за якої відбулося аварійне викидання до навколишнього середовища пилу, який обертався в апараті.

Розрахункову масу пилу, що надійшов до навколишнього простору у разі розрахункової аварії, визначають:

$$m_{zn} = m_{ze} + m_{av}, \quad (6.17)$$

де  $m_{zn}$  – розрахункова маса горючого пилу, який надійшов до навколишнього простору, кг;

$m_{ze}$  – розрахункова маса пилу, який перейшов у стан аерозолу, кг;

$m_{av}$  – розрахункова маса пилу, який надійшов в результаті аварійної ситуації, кг.

Величина  $m_{ze}$  визначається за формулою:

$$m_{ze} = K_{\Gamma} \cdot K_{en} \cdot m_{п.в}, \quad (6.18)$$

де  $K_{\Gamma}$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу;

$K_{en}$  – частка відкладеного поблизу апарата пилу, який здатен перейти у стан аерозолу в результаті аварійної ситуації. У разі відсутності експериментальних даних про величину  $K_{en}$  допускається приймати  $K_{en} = 0,9$ ;

$m_{п.в}$  – маса пилу, який відклався поблизу апарата до моменту аварії, кг.

Величина  $m_{av}$  визначається за формулою:

$$m_{av} = (m_{ап} + q \cdot \tau_{п}) \cdot K_{п}, \quad (6.19)$$

де  $m_{ап}$  – маса горючого пилу, що викидається до навколишнього простору у разі розгерметизації технологічного апарата, кг, у разі відсутності обмежувачих викид пилу інженерних пристроїв слід вважати, що у момент розрахункової аварії відбувається аварійне викидання у навколишній простір усього пилу, який знаходився в апараті;

$q$  – витрата, з якою продовжується надходження пилоподібних речовин до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$\tau_{п}$  – розрахунковий час перекривання, с, який визначається у кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, слід приймати таким, що дорівнює часу спрацьовування системи автоматики, якщо ймовірність її відмовлення не перевищує 0,000001 на рік або забезпечується резервування її елементів (але не більше 120 с); 120 с, у разі якщо ймовірність відмовлення системи автоматики перевищує 0,000001 на рік і не забезпечується резервування її елементів; 300 с у разі ручного перекривання;

$K_{п}$  – коефіцієнт пилення, який представляє собою відношення маси пилу у стані аерозолу до всієї маси пилу, який вийшов з апарата. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_{п}$  допускається приймати його: 0,5 – для пилу з дисперсністю не менше 350 мкм; 1,0 – для пилу з дисперсністю менше 350 мкм.

Надлишковий тиск  $\Delta P$  для горючого пилу розраховується у такий спосіб:

– визначають приведену масу горючого пилу  $m_{пр}$ , кг, за формулою:

$$m_{\text{пр}} = m_{\text{п}} \cdot Z_{\text{п}} \cdot H_{\text{Т}}/H_{\text{То}}, \quad (6.20)$$

де  $m_{\text{п}}$  – маса горючого пилу, що потрапив до навколишнього простору в результаті розрахункової аварії, кг;

$Z_{\text{п}}$  – коефіцієнт участі горючого пилу у вибуху і/або горінні, значення якого допускається приймати рівним 0,1. В окремих обґрунтованих випадках значення  $Z$  може бути знижено, але не менш ніж до 0,02;

$H_{\text{Т}}$  – теплота згоряння пилу, Дж·кг<sup>-1</sup>;

$H_{\text{То}}$  – константа, яка приймається рівною  $4,6 \cdot 10^6$  Дж·кг<sup>-1</sup>;

– обчислюють розрахунковий надлишковий тиск  $\Delta P$ , кПа, за формулою:

$$\Delta P = P_0(0,8m_{\text{пр}}^{0,33}/r + 3m_{\text{пр}}^{0,66}/r^2 + 5m_{\text{пр}}^{0,66}/r^3), \quad (6.21)$$

де  $r$  – відстань від геометричного центру зовнішньої установки до межі розрахункової зони, м;

$P_0$  – атмосферний тиск, що дорівнює 101,3 кПа;

$m_{\text{пр}}$  – приведена маса горючого пилу, кг;

$r$  – відстань від центру пилоповітряної хмари, м.

**Висновки.** Встановлення тієї або іншої категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою формує протипожежні вимоги до планування і забудови території промислових підприємств, поверховості виробничих будівель, вогнестійкості застосовуваних будівельних конструкцій, величини площ пожежних відсіків, розташування і протяжності шляхів евакуації, застосування легкоскидаємих конструкцій.

### Питання для самоконтролю

1. Які параметри виробничих приміщень враховуються при розрахунках категорії будівель за вибухопожежною і пожежною небезпекою?
2. Наведіть послідовність етапів визначення категорій будівель за вибухопожежною і пожежною небезпекою.
3. Дати визначення категорії зовнішньої установки «А» за вибухопожежною небезпекою.
4. Наведіть послідовність етапів визначення категорій зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою.
5. Дати визначення категорії будівлі «Б» за вибухопожежною небезпекою.

### Рекомендована література

1. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
2. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.



## ЛЕКЦІЯ 7 ВИРОБНИЧІ АВАРІЇ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

### ПЛАН

7.1 Характеристика небезпечних виробництв. Причини та види пошкодження технологічного обладнання

7.2 Основні параметри, що характеризують безпеку виробничого процесу

7.3 Інженерно-технічні заходи, що виключають пошкодження технологічного обладнання

#### **7.1 Характеристика небезпечних виробництв. Причини та види пошкодження технологічного обладнання апаратів**

Сучасні підприємства хімічної, нафтохімічної промисловості характеризуються не тільки великим різноманіттям технологічних процесів, але і великою номенклатурою застосовуваної сировини, одержуваних продуктів, що мають велику пожежовибухонебезпеку, а також токсичні властивості. У світі виготовляється більше 1 млн. найменувань хімічних речовин в рік, причому в промислове виробництво, сільське господарство та сферу побуту щорічно впроваджується приблизно 1000 нових хімікатів. Номенклатура небезпечних вантажів у світі включає близько 3000 найменувань, з яких 100 приходиться на долю сильнодіючих отруйних речовин.

Найбільшу безпеку для виробництва становлять пошкодження та аварії технологічного обладнання, в результаті яких значна кількість горючих речовин виходить назовні і приводить до небезпечного накопичення парів та газів у приміщеннях, загазованості відкритих територій, розливу рідин на великі площі.

Наслідки пошкодження або аварії будуть залежати від розмірів аварії, а також від пожежонебезпечних властивостей речовин, що виходять назовні та від їх температури і тиску.

Аналіз вибухів та пожеж за видами технологічного обладнання показує, що аварії частіше всього виникають в реакторах (17%), трубопроводах (17%), ємностях (16%), нагрівальних приладах (12%). При експлуатації виробничих апаратів можливі не тільки пошкодження прокладок, сальників, швів тощо, але й пошкодження матеріалу корпусу і навіть повне зруйнування апаратів з виходом назовні великої кількості рідин та газів.

Згідно з наказу ДСНС №25 від 17.05.2022 «Методичні рекомендації щодо розроблення планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків» [1] є планування дій – взаємодії персоналу підприємств, спецпідрозділів, населення, центральних і місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування щодо локалізації і ліквідації аварій та пом'якшення їх наслідків. Аварії на виробництвах в залежності від їх масштабу можуть бути трьох рівнів: «А», «Б» та «В».

Рівні аварії «А» і «Б» відповідно до Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями (далі – Порядок класифікації НС), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004 р. № 368 [2], можуть відповідати «об'єктовому рівню надзвичайної ситуації» залежно від обсягів заподіяних наслідків, технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для їх ліквідації.

Рівень аварії «В» відповідно до Порядку класифікації НС за певних умов може класифікуватися як надзвичайна ситуація «місцевого», «регіонального» або «державного» рівня.

**Аварія на рівні «А»** характеризується розвитком аварії без виходу за межі виробництва, де сталася аварія.

**Аварія на рівні «Б»** характеризується розвитком аварії, наслідки якої за прогнозом можуть поширитись або фактично поширюються на інші виробництва, розташовані у межах території ОПН.

**Аварія на рівні «В»** характеризується швидким поширенням наслідків викиду, вилливу, вибуху, пожежі тощо у реальному часі або за прогнозом за межі території ОПН із завданням шкоди іншим підприємствам, населенню або виникненням «ефекту доміно».

Оцінка наслідків аварії і окремих її стадій виконується за допомогою методик, які наводяться у нормативно-технічній документації та довідковій літературі.

*Причини та види пошкодження технологічного обладнання апаратів*

Технологічне обладнання та технологічні процеси, що здійснюються в ньому, розробляються таким чином, щоб за нормальних умов їх експлуатації небезпека не виникала. Але аварійні ситуації все ж трапляються.

Згідно Кодексу цивільного захисту України термін « аварія» – це небезпечна подія техногенного характеру, що спричинила ураження, травмування населення або створює на окремій території чи території суб'єкта господарювання загрозу життю або здоров'ю населення та призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи спричиняє наднормативні, аварійні викиди забруднюючих речовин та інший шкідливий вплив на навколишнє природне середовище; дослідження безпеки, що виникає при пошкодженні технологічного обладнання, - одне із самих складних питань. При цьому необхідно з'ясувати місце, час, причини, вид, ступінь пошкодження, масштаби та тривалість аварії.

Частіше всього аналіз можливих пошкоджень обладнання та пов'язаних з ним аварійних ситуацій здійснюється наступним чином:

- виділяються стадії або ділянки технологічного процесу;
- для кожної стадії або ділянки складається перелік технологічних апаратів або вузлів;
- для кожного апарата або вузла складається найбільш повний перелік можливих пошкоджень;
- аналізується кожне можливе пошкодження.

При дослідженні аварійної ситуації перш за все визначають:

- причини пошкодження;
- ступінь пошкодження (локальне пошкодження, повна руйнація);
- витрати та тривалість витікання (у тому числі загальну кількість речовини, що виходить);
- розміри зовнішньої небезпечної зони (у результаті розсіювання газу, розтікання та випаровування рідини);
- умови спалахування та характер первинного осередку пожежі.

Характерними ознаками аварійних ситуацій в результаті порушення технологічного процесу є:

- переливання рідини внаслідок переповнювання апаратів;
- інтенсивне (у тому числі аварійне) скидання речовин (газів, парів, рідин) через захисні клапани (внаслідок підвищення тиску в апараті) та дренажні пристрої.

Необхідною умовою забезпечення ефективної та безпечної експлуатації технологічного обладнання є його стійкість, під якою розуміють спроможність конструкції сприймати зусилля робочих навантажень, не руйнуючись і не створюючи пластичних деформацій понад установлені величини. Вид і товщину матеріалу підбирають так, щоб вони могли протистояти впливу внутрішнього та зовнішнього середовища.

Стійкість технологічного обладнання забезпечується правильним добром матеріалу з урахуванням характеру і розмірів зовнішніх навантажень, що діють на апарат. При цьому завжди виходять із самих несприятливих умов роботи апарата. Але незважаючи на це, на промислових підприємствах нерідко спостерігаються пошкодження та аварії апаратів і трубопроводів.

На практиці ушкодження технологічного обладнання відбуваються через:

- недоліки конструктивного характеру (неправильний розрахунок або вибір матеріалу);
- дефекти виготовлення (приховані внутрішні дефекти матеріалів, неякісна підгонка та зварювання);
- порушення прийнятих режимів роботи;
- відсутність або несправність засобів захисту від перевантажень, неякісного технічного обслуговування та ремонту.

Причини пошкодження технологічного обладнання прийнято класифікувати таким чином:

- пошкодження в результаті механічних впливів;
- пошкодження в результаті температурних впливів;
- пошкодження в результаті хімічних впливів.

Визначити дійсну причину пошкодження не завжди буває просто, тому що очевидна на перший погляд причина пошкодження у дійсності може бути наслідком ряду інших взаємозалежних явищ. Тому виникає необхідність у вивченні найбільш характерних причин пошкоджень апаратів та обладнання. І перш за все визначення причин пошкодження апаратів дозволить передбачити аварійні ситуації на виробництві.

### *Пошкодження технологічного обладнання в результаті механічних впливів.*

Під механічними впливами розуміють впливи, що виникають у результаті перевищення розрахункових навантажень на обладнання при збереженні його розрахункової стійкості.

Це відбувається за багатьох причин, у тому числі, і в результаті впливу не передбачених розрахунком навантажень, наявності прихованих внутрішніх дефектів матеріалу, відсутності або несправності засобів захисту апаратів від перевантажень, а також неякісного технічного нагляду за устаткуванням у процесі його експлуатації. У результаті появи не передбаченого розрахунком механічного впливу матеріал корпусу апарата або трубопроводу може відчувати надмірно високі внутрішні напруження, спроможні викликати не тільки утворення нещільностей у швах і рознімних з'єднаннях, але і повну руйнацію апарата або трубопроводу по найбільш слабкому перетину.

Причинами появи високих внутрішніх напружень можуть бути завищений проти норми внутрішній тиск в апаратах (від порушення матеріального балансу, теплового розширення речовин, припинення конденсації парів тощо) та навантаження динамічного характеру, на які апарат не розрахований.

### *Підвищення внутрішнього тиску.*

Порушення технологічного режиму, відсутність контролю за ходом ведення технологічного процесу, а також за роботою машин і апаратів призводять до надмірного внутрішнього тиску, що виникає в апараті в результаті:

- порушення матеріального балансу;
- порушення теплового балансу;
- подачі речовин при закритих засувках на відповідних трубопроводах;
- невчасному відкриванні засувок на лініях;
- потрапляння в газові лінії рідини та утворення пробок у колінах, вигинах і найбільш низьких ділянках;
- невчасного видалення пароповітряної суміші (забруднення або зледеніння вогнеперешкоджувачів тощо);
- порушення температурного режиму роботи апаратів;
- порушення процесу конденсації парів;
- потрапляння у високотемпературні апарати низькокиплячих рідин.

### *Порушення матеріального балансу в обладнанні.*

Розглянемо найбільш характерні та поширені причини підвищення внутрішнього тиску у технологічному обладнанні. В основі роботи апаратів та установок лежить матеріальний та енергетичний (тепловий) баланс.

Згідно матеріального балансу кількість речовин, що поступає до апарату повинна дорівнювати кількості речовин, що виводяться з апарата, незалежно від того, яких змін вони набули в апараті.

Якщо ж надходження речовин в апарат зростає при незмінній їх витраті або якщо витрата речовин зменшується при постійному надходженні, то на-

ступає порушення матеріального балансу, що призводить до підвищення тиску в апараті, тобто:

$$\sum_i G_i^{np} > \sum_i G_i^{yx}, \quad (7.1)$$

де  $\sum_i G_i^{np}$  - сумарна кількість речовин, що надходять в апарат;  
 $\sum_i G_i^{yx}$  - сумарна кількість речовин, що виводяться з апарату.

Порушення матеріального балансу відбувається при невідповідності продуктивності насосів та компресорів витраті продуктів (якщо насос буде працювати з тією ж продуктивністю, а витрата знижена, виникає підвищений тиск в апараті); збільшенні опору у видаткових та дихальних лініях; відсутності регулюючих улаштувань, а також недостатньому контролю за рівнем рідин, тиском газів, процесами наповнення тощо. На стінках апаратів (трубопроводів) накопичуються солі, кокс, полімери, кристалогідрати, бруд, що веде до утворення відкладень та пробок.

Вирішення багатьох практичних задач гідромеханіки зводиться до визначення втрат напору під час руху рідини по трубах або пожежних рукавах. Втрата напору потоку рідини, що рухається, обумовлені опорами двох основних видів [2]:

– опори, які проявляють себе по всій довжині потоку, обумовлені силами тертя частинок рідини одна об одну та об стінки, що обмежують потік; відповідно, втрата напору цього виду називаються лінійними і позначаються  $H_l$ ;

– так звані місцеві опори, які обумовлені різного роду перешкодами, що встановлюються в потоці (звуження або розширення перерізу трубопроводу, засувка, вентиль, коліно тощо) та призводять до змін в величині або напрямку швидкості течії рідини; відповідно, втрата напору цього виду називаються місцевими і позначаються  $H_m$ .

Тоді, втрати напору в систем  $H_g$  між двома перерізами потоку при наявності опорів обох видів дорівнює:

$$H_g = H_l + H_m, \quad (7.2)$$

де  $H_g$  – втрати напору в системі, мм.в.ст;  
 $H_l$  – втрати напору по довжині лінії, мм.в.ст.;  
 $H_m$  – місцеві втрати напору, мм.в.ст.

Величину втрати напору в лініях (для подолання опору і створення необхідної швидкості руху продукту) визначають за формулою:

$$H_l = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (7.3)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору тертя, визначається в залежності від режиму руху продукту;

$\ell$  – довжина трубопроводу, м;

$d$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

$\omega$  – швидкість руху продукту в трубопроводі, м/с;

$g$  – прискорення сили ваги, м/с<sup>2</sup>.

Величину місцевих втрат напору визначають за формулою:

$$H_m = \xi \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (7.4)$$

де  $\xi$  - коефіцієнт місцевого опору (довідкові дані).

Тоді, величину втрати тиску в системі можна визначити так:

$$\Delta P = \rho_t \cdot g \cdot H_e, \quad (7.5)$$

де  $\Delta P$  – втрати тиску при збільшенні опору системи, Па;

$\rho_t$  – густина продукту при робочій температурі, кг/м<sup>3</sup>.

Підставляючи значення формул (7.3) і (7.4) у формулу (7.5), одержимо величину перепаду тиску для подолання опору в системі:

$$\Delta P = \left( \sum_{i=1}^n \xi_i + \lambda \frac{\ell}{d} \right) \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_t}{2}, \quad (7.6)$$

а кінцевий тиск  $P_k$  в апараті при наявності відкладень у відвідних трубопроводах за формулою:

$$P_k = P_n + \Delta P, \quad (7.7)$$

де  $P_k$  – кінцевий тиск у системі при збільшенні опору ліній, Па;

$P_n$  – початковий тиск у системі, Па.

Небезпечним випадком є утворення підвищеного тиску в апаратах і трубопроводах при нагріванні в них рідин і газів вище встановленої межі. При підвищенні робочої температури тиск в апаратах зростає за рахунок об'ємного розширення речовин і збільшення пружкості парів та газів.

Тиск у герметичних апаратах із газами і перегрітими парами при підвищенні температури дорівнює:

$$P_k = P_n \cdot \frac{T_k}{T_n} \cdot z, \quad (7.8)$$

де  $P_k, P_n$  – відповідно початковий та кінцевий тиск в апараті, Па;

$T_n, T_k$  – відповідно початкова та кінцева температура речовини, К ;

$z$  – коефіцієнт стиснення газу при відповідних значеннях тиску і температури ( $z < 1$ ).

Кінцевий тиск в апаратах із насиченими парами рідин і наявністю рідкої фази при зміні температури визначають із виразу:

$$P_k = P_s = f(T_k), \quad (7.9)$$

де  $P_s$  – тиск насиченої пари при температурі  $T_k$ , Па.

Приріст тиску у герметичному апараті або на ділянці трубопроводу, який повністю заповненого рідиною, при підвищенні температури визначають за формулою:

$$\Delta P = \frac{\beta}{\beta_{cm}} \cdot \Delta t, \quad (7.10)$$

де  $\Delta P$  – збільшення тиску, Па;  
 $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення рідини,  $K^{-1}$ ;  
 $\beta_{cm}$  – коефіцієнт об'ємного стиснення рідини,  $Pa^{-1}$ ;  
 $\Delta t = t_k - t_n$  – зміна температури в апараті,  $^{\circ}C$ .

#### *Порушення процесу конденсації парів*

В основі багатьох виробництв лежать процеси випаровування ЛЗР та ГР. До них відносяться: перегонка та ректифікація розчинів на атмосферних та вакуумних установках випаровування розчинів, випаровування розчинників із розчинів, твердих речовин тощо. У кожному випадку випаровування рідини поєднано з процесом конденсації одержаних парів.

Порушення нормального процесу конденсації парів може призвести до утворення підвищеного тиску в системі. Причиною порушення процесу конденсації є зменшення кількості тепла, що передається від парів, які підлягають конденсації до холодоагента.

#### *Порушення процесу конденсації парів може відбуватися :*

- в результаті зменшення або повного припинення подачі холодоагенту;
- надходження його з більш високою початковою температурою;
- при зменшенні коефіцієнта теплопередачі від пари до холодоагенту;
- при сильному забрудненні теплообмінної поверхні конденсаторів малотеплопроводними відкладеннями.

Приріст тиску в системі визначається за формулою:

$$\Delta P = \frac{a \cdot G_n \cdot \tau}{100 \cdot V_g \cdot \rho_t} \cdot P_0, \quad (7.11)$$

де  $a$  – коефіцієнт неповноти конденсації парів, %;  
 $G_n$  – продуктивність апарата по парі, кг/с;  
 $\tau$  – тривалість порушення нормального режиму конденсації, с;  
 $\rho_t$  – густина пари рідини за робочими температурою та тиском в апараті,  $kg/m^3$ ;  
 $V_g$  – вільний об'єм системи,  $m^3$ ;  
 $P_0$  – тиск навколишнього середовища, Па.

#### *Потрапляння у високотемпературні апарати рідин т із низькою температурою кипіння*

Якщо в апарат із високою робочою температурою потрапляє рідина, температура кипіння якої нижча, то відбувається інтенсивне випаровування

рідини і підвищення тиску. Вода, або інша низькокипляча рідина може попастися до високотемпературного апарата разом з продуктами, що надходять до нього, через нещільності теплообмінної поверхні холодильників, що знаходяться усередині апаратів, при неправильному переключенні ліній, а також у виді конденсату із парових технологічних та продувних ліній. Приріст тиску у високотемпературних апаратах при потраплянні в них і швидкому скипанні низькокиплячих рідин визначають за формулою:

$$\Delta P = 0,082 \cdot \frac{m \cdot T_p}{M \cdot V_g} \cdot P_0, \quad (7.12)$$

де  $P_0$  – тиск навколишнього середовища, Па;  
 $m$  – маса низькокиплячої рідини, що потрапила і випарувалася в апараті, кг;  
 $V_g$  – вільний об’єм системи, м<sup>3</sup>;  
 $T_p$  – робоча температура в апараті, К;  
 $M$  – молекулярна маса рідини, що потрапила в апарат, кг/кмоль.

#### *Вплив на матеріал апаратів навантажень динамічного характеру*

Динамічні навантаження викликають утворення внутрішніх напружень в конструкціях апарата значно вище тих, які виникають при статичній дії цих навантажень.

Динамічні впливи виникають при :

- різких змінах величини тиску в апаратах;
- при гідро ударах;
- в результаті вібрацій;
- від випадкових ударів транспортом, що рухається, при падінні вантажів та ін.

Великі внутрішні напруження в стінках апаратів та трубопроводів можуть виникнути в результаті різкого гальмування потоку рідини або газу, що рухається. Розглянемо деякі з них.

Впливу гідроударів частіше піддаються трубопроводи і насоси. Гідравлічні удари виникають звично в результаті швидкого закривання та відкривання вентилів на трубопроводах, при великих пульсаціях рідини, що подається насосами, при різкій зміні тиску на якій-небудь ділянці трубопроводу.

Приріст тиску в трубопроводі при гідроударах визначають за формулою Н.Е. Жуковського [1]:

$$\Delta P = c \cdot \Delta \omega \cdot \rho_t, \quad (7.13)$$

де  $c$  – швидкість поширення ударної хвилі, м/с;  
 $\rho_t$  – густина рідини при робочій температурі, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\Delta \omega$  – зменшення швидкості руху рідини в трубопроводі визначається за формулою, м/с.



$$\Delta\omega = \omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{кінц}}, \quad (7.14)$$

де  $\omega_{\text{поч}}$ ,  $\omega_{\text{кін}}$  – відповідно початкова і кінцева швидкість руху продукту в трубопроводі, м/с (часто  $\omega_{\text{кінц}} = 0$ ).

Тиск при гідроударі залежить від часу закриття запірних пристроїв та довжини трубопроводу. Чим довший трубопровід та менший період закриття засувки, крана, клапана, тим більший тиск.

#### *Вібрації апаратів та трубопроводів*

Технологічне обладнання може пошкоджуватися в результаті вібрацій. Так, з'являються нещільності у фланцевих з'єднаннях, відбуваються порушення швів, руйнації. Спостерігається вібрація в недостатньо закріплених зовнішніх апаратах і від впливу вітру.

До механічних пошкоджень від дії навантажень динамічного характеру також можна віднести зовнішні механічні удари:

- при необережній роботі внутрішньоцехового транспорту;
- у результаті ударів падаючих вантажів;
- застосування інструментів ударної дії.

#### *Зруйнування технологічного обладнання в результаті ерозії матеріалу апаратів і трубопроводів.*

Ерозія - механічний знос матеріалу середовищем, що рухається. Відбувається при обтіканні конструкцій струменем твердих, рідких або газоподібних часток або при електричних розрядах. Внаслідок ударів об поверхню конструкції частки струменю руйнують поверхневий прошарок, що призводить до зменшення товщини стінки, утворення борозенок, раковин.

Шкідлива дія процесів ерозії спостерігається в апаратах і трубопроводах установок каталітичного крекінгу нафтопродуктів, в установках дегідрування бутану, бутилену, ізопрену, аміленів та інших установках хімічної, нафтохімічної і газової промисловості.

#### *Локальне пошкодження технологічного обладнання*

Найбільшу небезпеку для виробництв представляють порушення роботи технологічного обладнання та пов'язані з ними пошкодження і аварії, за яких за короткий період часу може утворитися горюча концентрація не тільки всередині апаратів, але і назовні, внаслідок виходу значної кількості горючих речовин.

Масштаби аварії та пожежі значною мірою залежать від виду пошкодження. Якщо пошкодження має місцевий характер (утворюються тріщини, наскрізні отвори від корозії, виникає руйнування прокладного матеріалу, роз'ємних з'єднань тощо), тоді, в залежності від робочого тиску в апараті або трубопроводі, можливий вихід горючих речовин назовні або підсмоктування повітря всередину. І в цьому, і в іншому випадках тиск (надлишковий або залишковий) в апараті змінюється плавно, наближаючись до атмосферного. Витікання горючої речовини, що утворюється внаслідок її виходу або в результаті

підсмоктування повітря, може проходити досить тривалий час. Пошкодження, що характеризуються такими умовами, вважають локальними.

Якщо відомі розміри пошкодження, тоді кількість речовини, що виходить назовні, можна визначити за наступною формулою:

$$m_{\text{л}} = \alpha \cdot f \cdot \omega \cdot \rho_t \cdot \tau, \quad (7.15)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт витрати, що змінюється в межах 0,45-0,85 в залежності від форми отвору та властивостей рідини. При витіканні через отвір круглої форми в тонких стінках рідин, в'язкість яких складає 0,5-1,5 МПа·с, можна приймати  $\alpha=0,64$ ;

$f$  – площа перерізу отвору, через який відбувається витікання, м<sup>2</sup>;

$\omega$  – постійна або середня швидкість витікання речовини, м/с;

$\rho_t$  – густина речовини, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – тривалість витікання, с.

Площу пошкодженої ділянки (отвору)  $f$  визначають з урахуванням причин і характеру пошкодження та конструктивних особливостей обладнання.

Тривалість витікання речовини з пошкодженого апарата  $\tau$  складається із часу від початку витікання до моменту виявлення пошкодження  $\tau_1$ , тривалості операцій з припинення витікання  $\tau_2$  (закриття засувки, установка заглушок тощо) та тривалості залишкового витікання  $\tau_3$ , тобто:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3. \quad (7.16)$$

Слід зазначити, що величина кожного відрізка часу залежить від багатьох факторів. Так, час виявлення пошкодження та початку витікання  $\tau_1$  залежить від характеру та ступеня пошкодження, числа та розміщення робочих місць обслуговуючого персоналу на виробничій ділянці та в пункті управління виробництвом, наявності стаціонарних засобів контролю за технологічним процесом, чутливості цих засобів до відхилень від норм технологічного режиму. За умов постійної наявності обслуговуючого персоналу у виробничому приміщенні, при якісному профілактичному нагляді або за наявності стаціонарних засобів контролю за концентрацією парів та газів у повітрі період виявлення пошкодження  $\tau_1$  буде незначним і його можна прийняти рівним нулю.

Тривалість операцій з припинення витікання  $\tau_2$  залежить від кількості живильних трубопроводів, від кількості, розміщення, виду приведення в дію та тривалості спрацьовування засувки, а також чисельності обслуговуючого персоналу, його підготовленості до ліквідації аварійної ситуації. При пошкодженні складних технологічних установок з жорстко закріпленими технологічними зв'язками необхідно враховувати час відключення всіх блоків та вузлів установки, що пов'язані між собою. Цей час може вимірюватися годинами. В простіших випадках час відключення обладнання становить 15 хвилин при ручних операціях та 2 хвилини при автоматичних.

Тривалість залишкового витікання  $\tau_3$  залежить від об'єму обладнання, що відсікається, його робочих параметрів до моменту відключення та параметрів витікання. Тривалість цього періоду визначається гідродинамічним розрахунком.

## 7.2 Основні параметри, що характеризують небезпеку виробничого процесу

Для оцінки небезпеки технологічних процесів та апаратів важливо знати основні параметри, що характеризують небезпеку виробничого процесу при повному зруйнуванні технологічного обладнання.

Одним з таких параметрів є визначення маси речовини, що може вийти із зруйнованого обладнання. При цьому слід враховувати, що на виробництві зруйнування одного з апаратів технологічної схеми приводить до розгерметизації всього технологічного блоку, що складається з апарату, який з'єднується з насосом або компресором за допомогою трубопроводів.

Кількість горючих речовин  $m$ , що виходять назовні з технологічної системи при повному пошкодженні апаратів, визначають за формулою:

$$m = m_{an} + m_{mp_1} + m_{mp_2} + m_{н,к}, \quad (7.17)$$

де  $m_{an}$  – кількість горючої речовини, що знаходяться в апараті до його пошкодження, кг;

$m_{mp_1}$ ,  $m_{mp_2}$  – кількість горючих речовин, що виходять із трубопроводів відповідно до моменту їх відключення та після перекриття засувки або інших запірних пристроїв, кг;

$m_{н,к}$  – кількість горючих речовин, що додатково може надійти до приміщення при аварії за рахунок подачі насоса або компресора до повного їх відключення, кг.

Таким чином, небезпека технологічного обладнання при його пошкодженні та аваріях залежить не тільки від небезпечних властивостей речовин, що виходять назовні, але і від їх кількості, що, в свою чергу, визначається виходячи з об'єму та ступеня заповнення апарата, від розмірів трубопроводів, що живлять апарат, від способу виявлення аварії та умов відключення технологічної системи.

Аналіз характеру причин аварій у небезпечних виробництвах, до яких відноситься хімічна і нафтохімічна промисловість показує, що більшість їх (95%) зв'язано з вибухами різних хімічних речовин: 54% в апаратурі, 46% у виробничих будівлях і на відкритих технологічних установках. Однак це співвідношення неоднаково в різних галузях і змінюється в залежності від характеру виробництва. Наприклад, в азотній промисловості кількість аварій, пов'язаних з викидами в атмосферу горючих газів і рідин через нещільності в апаратах, компресорах, насосах, комунікаціях, приблизно в 1,6 рази більше аварій, пов'язаних з вибухами усередині технологічних систем. У хлорній

промисловості вибухів, загорянь і пожеж, пов'язаних з викидами горючих продуктів в атмосферу, у 2,5 рази більше, ніж вибухів усередині устаткування. У промисловості хімічних волокон найбільш характерними аваріями є пожежі і загоряння, викликані витоками горючих рідин і займанням волокон, причому пожежі і іноді охоплюють значні площі.

Статистичний аналіз аварій на об'єктах хімічної і нафтопереробної промисловості за кордоном (згідно даних американської страхової асоціації за останні 40 років) показав, що основними причинами великих пожеж є:

- ушкодження обладнання – 31%
- неправильний вибір конструкційних і інших матеріалів – 20%
- порушення технологічного процесу – 17%
- недостатнє вивчення процесів – 11%
- недостатня профілактика – 8%

Основними причинами пожеж у технологічних установках є:

- порушення технологічного режиму роботи – 86%
- пуск нових ліній і апаратів – 7,5%
- ремонтні роботи – 4,7%

У 18 – 23% випадків причиною аварій є несправність електричного устаткування та електроустановок.

Аналіз причин аварій у хімічній промисловості показує, що основна їхня кількість (81%) зв'язана з веденням хіміко-технологічних процесів, 13% з підготовкою устаткування до ремонту, ремонтним роботам чи прийомом устаткування з ремонту і 6% - з інших причин.

### **7.3 Інженерно-технічні заходи, що виключають пошкодження технологічного обладнання**

Необхідною умовою забезпечення ефективної і безпечної експлуатації технологічного обладнання є впровадження в практику проектування й експлуатації інженерно-технічних рішень, що виключають його руйнування при збільшенні тиску, а також інших механічних впливах.

Перелічимо інженерно-технічні заходи, що виключають пошкодження технологічного обладнання:

1. Запобігання руйнуванню технологічного обладнання при підвищенні тиску.

2. Захист технологічного обладнання від руйнування та пошкодження внаслідок підвищення тиску.

3. Запобігання переповнюванню технологічного обладнання рідинами і газами, яким передбачаються такі технічні рішення:

- застосування лічильників-дозаторів для визначення кількості рідин і газів, що надходять в обладнання;
- застосування пожежонебезпечних рівнемірів та манометрів для контролю рівня або об'єму речовин в апараті (забороняється застосовувати скляні показники рівня на апаратах із скрапленими газами під тиском);

- застосування автоматичних систем, що припиняють подачу продуктів відключенням насосів, компресорів і ліній;
- застосування систем автоматичної сигналізації аварійного стану апаратів (наприклад, положення ковпака газгольдера);
- застосування переливних труб на апаратах із рідинами та свіч скидання на апаратах із газами.

Для хімічних процесів характерні вибухи в технологічному обладнанні. Ймовірність вибуху в технологічних системах визначається насамперед, наявністю або утворенням в достатній кількості вибухонебезпечних або нестабільних сполук, що схильні до самоприскорюючих екзотермічних фізико-хімічних перетворень. До таких сполук відносять: ацетилен та його похідні, що здатні при невисоких температурах та тиску до термічного розкладання; активні сполуки, що схильні до екзотермічної спонтанної полімеризації; пероксидні сполуки, що здатні спонтанно саморозігріватися при порівняно невисоких температурах; реакційні маси процесів нітрування вуглеводнів та інші нітросполуки, що одержуються як допоміжні продукти; нестабільні продукти осмолення, полімеризації, окислення, що накопичуються в апаратурі в значній кількості; розплави аміачної селітри та інших солей азотної кислоти, а також їх суміші з органічними речовинами. Наявність вказаних речовин в апаратах навіть при порівняно незначних підвищеннях регламентованих температур або в інших випадках (наприклад, при попаданні каталізуючих домішок) свідчить про потенційну небезпеку вибуху.

Слід зазначити, що при дуже високих температурах та наявності каталізаторів, вибухонебезпечними можуть бути відносно стабільні речовини. Наприклад, етилен при помірних тисках та температурі є стабільною речовиною, але в умовах полімеризації під тиском в реакторах 280 МПа при 200-300°C та вмісту кисню як каталізатора 0,005% етилен стає нестабільним. Підвищення, наприклад тиску лише на 10 МПа приводить до самоприскорюючого розкладання етилену та до вибуху. До екзотермічної спонтанної реакції розкладання етилену приводить передозування кисню-ініціатора лише на 10%, а також раптове зниження на 20% подачі холодоагента.

Багато промислових хімічних процесів є екзотермічними, тобто супроводжуються позитивним тепловим ефектом, що обумовлює нагрівання реакційного середовища до температур, що перевищують у ряді випадків оптимальні межі. Забезпечення пожежовибухобезпеки реакційних процесів з великим тепловим ефектом іноді являє собою складну технічну задачу, тому що в ряді випадків необхідний відвід тепла від реагуючого середовища з дуже великою швидкістю. Для цього застосовуються як негорючі рідини (вода, сольові водянні розчини й ін.) так і пожежовибухонебезпечні рідини і гази, у тому числі і скраплені. Використання холодоагентів, як правило підвищує пожежовибухонебезпечу установок і вимагає додаткового технологічного устаткування.

Для деяких екзотермічних хімічних процесів необхідний первісний тепловий імпульс, наприклад, процес полімеризації. Тому реактори, у яких про-

тікають подібні процеси, мають систему й обігріву, і охолодження, що збільшує їхню небезпеку.

В багатьох випадках апаратурне оформлення та надійність обладнання мають велике значення в забезпеченні вибухобезпеки виробництва. Наприклад, при виробництві електролітичного хлору та водню в системі апаратів та трубопроводів сучасного великого виробництва (продуктивністю 4 тис. м<sup>3</sup>/год) знаходиться близько 100 м<sup>3</sup> водню. При цьому не виключається можливість утворення вибухонебезпечних хлорводневих та водневих сумішей в електролізерах та трубопроводах. Крім цього є постійні джерела запалювання у вигляді відкритих струмопровідних елементів. Але значний розподіл в приміщенні апаратів, невеликий вміст водню (0,1 м<sup>3</sup>) та хлору (0,6 м<sup>3</sup>) в одному електролізері та невеликий вакуум в апаратах і трубопроводах практично виключають можливість утворення значного об'єму вибухонебезпечних газових сумішей в приміщенні та за його межами. В цьому випадку можливі лише місцеві локальні незначні вибухи (хлопки) газових сумішей в електролізерах та колекторах.

Аварії та пошкодження технологічного обладнання з горючими речовинами за звичай призводять до спалахів, вибухів і пожеж на виробництвах.

Умови спалахування горючих речовин при аваріях залежать перш за все від властивостей та температури речовин, що виходять назовні. Якщо в пошкоджених апаратах або трубопроводах горючі речовини нагріті вище температури самоспалахування, то при виході назовні та при контакті з повітрям відразу починається горіння (внаслідок самоспалахування). Приблизно таке ж явище спостерігається, коли безпосередньо поблизу місця пошкодження знаходяться джерела відкритого вогню або апарати з температурою поверхні, що дорівнює або вище температури самоспалахування продукту, який потрапляє на них.

Якщо ж горюча речовина, що виходить із пошкоджених апаратів та трубопроводів, нагріта нижче температури самоспалахування, але вище температури спалаху (для рідин), для виникнення пожежі (горіння) необхідне ще джерело запалювання. При викидах газу або рідини з температурою вище температури спалаху утворюються горючі концентрації парів або газів з повітрям. При цьому можуть утворюватися не тільки місцеві, але й по всьому об'єму виробничого приміщення або на території відкритих майданчиків пожежовибухонебезпечні зони, що здатні спалахувати при контакті навіть з відносно слабкими джерелами запалювання. При достатньо потужних джерелах запалювання спалахують будь-які горючі речовини.

Кожна аварія пов'язана або з локальним пошкодженням технологічного обладнання, або з повним зруйнуванням апарата. Небезпека в цьому випадку буде обумовлюватися не тільки пожежонебезпечними властивостями речовин, що виходять з технологічного обладнання, але й, головним чином, їхньою кількістю. Тому велике практичне значення мають методи визначення витрати і тривалості витоку, кількості речовини, що виходить назовні, динаміки утворення та збільшення розмірів зовнішньої небезпечної зони, а також заходи щодо зменшення наслідків аварій.

**Висновок.** Визначити дійсну причину пошкодження не завжди буває просто, тому що очевидна на перший погляд причина пошкодження у дійсності може бути наслідком ряду інших взаємозалежних явищ. Тому виникає необхідність у вивченні найбільш характерних причин пошкоджень апаратів та обладнання. І перш за все визначення причин пошкодження апаратів дозволить передбачити аварійні ситуації на виробництві.

### **Питання для самоконтролю**

1. Від яких факторів залежать наслідки пошкодження або аварії на виробництвах?
2. Дати визначення виробничих аварій рівня А, Б, В.
3. Назвіть причини та види пошкодження технологічного обладнання апаратів.
4. За яких умов впливає на матеріал апаратів навантаження динамічного характеру
5. Які інженерно-технічні заходи виключають пошкодження технологічного обладнання на виробництві?

### **Рекомендована література**

1. «Методичні рекомендації щодо розроблення планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків». Наказ Державної служби України з надзвичайних ситуацій від 17 травня 2022 року за №253.
2. Халипа В.М., Вамболь С.О., Міщенко І.В. Технічна механіка рідини і газу. Конспект лекцій. Х.: УЦЗУ, 2007. 64 с.
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004 р. № 368 «Порядок класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями».

## ЛЕКЦІЯ 8

### ХАРАКТЕРНІ АВАРІЇ ТА ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

#### ПЛАН

8.1 Сутність механічних процесів та технологічне обладнання для їх проведення

8.2 Характерні аварії та їх попередження під час проведення механічних процесів

#### **8.1 Сутність механічних процесів та технологічне обладнання для їх проведення**

Виробничі підприємства представляють собою складні комплекси та складаються з окремих цехів, ділянок, установок, що пов'язані між собою рельсовим та автомобільним транспортом, трубопроводами, конвеєрами або іншими транспортними комунікаціями. Технологічне обладнання (машини та апарати, що поєднані комунікаціями в технологічну схему виробництва тієї або іншої продукції) розташовується у виробничих приміщеннях та на зовнішніх установках. Незважаючи на велике різноманіття продукції та складність самих виробничих процесів, існує обмежена кількість типів та видів апаратів і машин для реалізації цих процесів, що мають принципові конструкційні відмінності. Механічні процеси застосовують у різних галузях виробництва як одну з основних стадій.

Механічні процеси пов'язані з обробкою та переміщенням твердих кускових та зернистих матеріалів (подрібнення, розсів, дозування, транспортування, пресування, фрезерування та інші процеси). Обладнання для проведення механічних процесів – дробарки, млини, класифікатори, дозатори елеватори, транспортери, преси, фрезерні станки тощо. Прикладом обробки твердих матеріалів можуть бути процеси механічної обробки металів, пластмас, деревини. До процесів механічної обробки матеріалів можна віднести різання, свердління, фрезерування, стругання, довбання, шліфування, полірування, розпушення та подрібнення. Ці процеси часто пов'язані з підвищенням температури, утворенням горючого пилу, виділенням пуху та волокон, використанням горючих рідин. На підставі цього можна стверджувати, що вони є пожежо- та вибухопожежонебезпечними.

Коротко розглянемо безпеку деяких найбільш поширених технологічних процесів.

#### *Механічна обробка металів*

Механічна обробка металів пов'язана із подоланням значних сил тертя, в результаті чого відбувається нагрівання матеріалу, що обробляється. Особливу пожежну безпеку становить технологічний процес обробки магнію (*Mg*), титану (*Ti*), цирконію (*Zr*) та їхніх сплавів. Пил магнієвих сплавів загоряється навіть від іскри, і горіння носить характер вибуху. Пил і стружка магнію та його сплавів при наявності залишків мастильних матеріалів спромож-



ний до самозаймання. Магнієвий пил також спроможний до електризації з подальшим загоранням. Електризація пилу може відбутися внаслідок тертя при роботі шліфувальних верстатів, скупчування на стінках трубопроводів системи аспірації чи вентиляції.

Титан у звичайних умовах небезпечний, але при підвищених температурах і особливо у вигляді тонкої стружки та у порошкоподібному стані легко з'єднується з киснем, галогенами, сіркою та з іншими елементами.

Зважений в повітрі пил цирконію є вибухопожежонебезпечний. Порошок цирконію може самоспалахуватися в звичайних умовах від розрядів статичної електрики при пересиханні.

#### *Механічна обробка пластмас.*

Вироби з пластмас звичайно виготовляють литтям під тиском або пресуванням. Пресовані вироби по лініях роз'єму прес-форм мають залишки лиття, а в отворах - плівку. Механічна обробка виробів із пластмас в основному і полягає саме у видаленні залишків лиття та плівки.

У випадку, коли одержання отворів у виробі при роботі з прес-формами або литті під тиском затруднене, то тоді отвори висвердлюють. При неможливості витримати точні розміри, вироби виготовляються з припуском, а точні розміри досягаються вже за допомогою механічної обробки.

#### *Небезпека процесу механічної обробки пластмас обумовлена:*

- горючістю оброблюваних матеріалів, які можуть спалахувати під час обробки (целулоїд, ебоніт, терморективні пластмаси та ін.);
- утворенням значної кількості пожежовибухонебезпечного пилу;
- виникненням в процесі обробки ДЗ.

#### *Механічна обробка деревини.*

У процесах механічної обробки деревини виділяється значна кількість пилу та дрібної стружки, які більш пожежонебезпечні, ніж звичайна деревина, тому що відходи накопичуються біля верстатів, пил осаджується на конструкції устаткування і приміщення. Деревинний пил, що утворюється під час роботи верстатів, особливо шліфувальних, здібний утворювати в суміші з киснем вибухонебезпечні концентрації. Осілий пил – пожежонебезпечний, температура самозаймання якого складає 255°C. Наприклад в 2015 році в приміщенні з деревинними відходами столярного підприємства Дніпропетровської області відбувся вибух пилу, що цілком зруйнував це приміщення і частково дах сусідніх виробничих будівель. В результаті виникла значна пожежа, у гасінні якої взяли участь 8 пожежних підрозділів у складі 38 чоловік на 10 автомобілях. Пожежа була ліквідована за 1,5 години.

Захаращення цехів лісоматеріалом, готовими виробами, стружкою і наявність пилу, створюють умови для швидкого поширення пожежі. Технологічне устаткування обладнано місцевими відсмоктувачами для видалення тирси і стружки, а також пневмотранспортом, що також може сприяти швидкому поширенню пожежі.

## *Обробка волокнистих матеріалів.*

У текстильній промисловості використовуються різноманітні волокнисті матеріали, що по своєму походженню діляться на природні і хімічні. Технологічний процес обробки сировини для одержання волокна також пожежо-небезпечний.

Небезпека процесів обробки волокнистих матеріалів характеризується:

- великою кількістю горючого матеріалу (волокно, пил);
- утворенням вибухонебезпечних концентрацій пилу в суміші з повітрям;
- наявністю джерела запалювання;
- наявністю великої кількості шляхів поширення пожежі (аспіраційні системи, вентиляційні конструкції, пневмотранспорт та ін.);
- складним технологічним устаткуванням.

Крім механічної обробки твердих матеріалів в промисловості застосовуються процеси здрібнювання твердих горючих речовин і матеріалів.

### *Процеси здрібнювання твердих горючих речовин і матеріалів.*

На підприємствах різноманітних галузей народного господарства, об'єктах інших форм власності обертаються у виробництві в різноманітному виді у т.ч. і тонко здрібненому, різноманітні горючі речовини, які є або кінцевим продуктом (борошно, цукрова пудра, пилевидне паливо та ін.) або відходами і побічними продуктами виробництва (борошняний, зерновий, тютюновий, деревинний, льняний пил, пух і інше). Для одержання таких продуктів тверді горючі речовини (зерно, вугілля, сірку, і інше) піддають здрібненню або розмелу. Самим простим і тому найбільше поширеним засобом є механічне подрібнення твердих тіл. Для подрібнення речовин і матеріалів застосовуються дробарки, млини, вальцеві верстати. Вальцеві верстати частіш за все використовуються для здрібнення зерна в борошномельно-круп'яній промисловості. Основними робочими органами цієї машини є вальці, які обертаються назустріч одне одному з різноманітною швидкістю. Зерно подається до вальців тонкою рівномірною стрічкою за допомогою живильних вальців. У цих машинах здрібнювання зерна відбувається між двома циліндричними вальцями, строго рівнобіжними (паралельними) між собою, які обертаються назустріч друг другу з різною швидкістю, у результаті впливу таких зусиль, як стискання та зсуву. Розмір зазору між вальцями від 0,15 - 1,75 мм від цього залежить інтенсивність подрібнювання (дисперсність готового продукту).

Процеси помелу матеріалів становлять значну пожежну небезпеку, оскільки супроводжуються збільшенням поверхні речовини і матеріалів, що підвищує їхню реакційну спроможність. Відбувається можливість утворення вибухонебезпечної концентрації пилу.

В середині апаратів і в повітрі виробничих приміщень дисперсні матеріали утворюють аерозолі – системи, що складаються із твердих частинок, розподілених в газовому середовищі. Характерною ознакою аерозолів є їх нестійкість: під дією сили тяжіння частинки осідають на різних поверхнях,

утворюючи осади (аерогелі), а під дією повітряних потоків ці пилові відкладення можуть знову переходити у завислий стан. Пожежна небезпека технологічного обладнання в цьому випадку залежить від стану пилу: осілий пил може тліти та горіти; завислий пил може утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші. Для пожежної профілактики важливо знати умови переходу пилу з одного стану в інший. Цей перехід визначається швидкістю осідання твердої частинки, тобто мінімальною швидкістю газового середовища, за якою тверда частинка з певними властивостями починає осідати.

Швидкість осідання кулеподібних форм часток визначається за наступною формулою (рівняння Стокса):

$$V_{oc} = \sqrt{\frac{4(\rho_4 - \rho_2) \cdot d \cdot g}{3\rho_2 \cdot \lambda}}, \quad (8.1)$$

де  $V_{oc}$  - швидкість осадження часток, м/с;

$\rho_4$  - щільність часток, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_2$  - щільність газу, кг/м<sup>3</sup>;

$d$  - діаметр часток, м;

$g$  - прискорення сили ваги, м/с<sup>2</sup>;

$\lambda$  - коефіцієнт опору середовища рівний 0,44.

Таким чином, завислий пил не буде осідати, а осілий буде звихрюватися, якщо швидкість руху газового потоку буде більша, ніж швидкість осідання  $V_{\Gamma} > V_{oc}$ .

## 8.2 Характерні аварії та їх попередження під час проведення механічних процесів

Велика кількість завислого пилу утворюється при роботі машин та агрегатів з механізмами ударної дії (дробарки, млини, розрихлювачі), а також машин та установок, дія яких пов'язана з використанням повітряних потоків (пневматичні системи транспортування, сепаратори, млини, сушарки тощо) або при падінні подрібненої продукції з висоти (самопливні труби тощо).

Значну небезпеку для апаратів представляє накопичення осілого пилу, якому сприяє підвищена вологість повітря, конденсація вологи на стінках апаратів та трубопроводів, а також адгезійні властивості пилу. Осілий пил в машинах та апаратах накопичується в застійних ділянках, тупиках, на поверхнях з дефектами, в місцях різкої зміни діаметрів та гострих кутів. В осілому стані пил може утворювати осередки самозаймання, а при його звихренні утворюються вибухонебезпечні пило-повітряні суміші. Іскри від ударів металевих часток, що можуть попасти до машини, призводять до появи осередків тління, від яких займається і пил, що знаходиться в завислому стані. Місцевий спалах може викликати звихрення пилу у великому об'ємі і стати причиною наступного вибуху великої руйнівної сили.

Такий розвиток процесу, що представляє собою послідовні один за одним вибухи з послідовно зростаючою потужністю, можна спостерігати у всіх

катастрофічних за своїми наслідками випадках пилових вибухів, що виникли на елеваторах, цукрових заводах та інших підприємствах, де наявне обертання горючого пилу.

Так, наприклад, на одному з борошномельних заводів (м. Бремен) в результаті вибуху пилоповітряної суміші було знищено половину усіх виробничих будівель та споруд на площі 40 тис. м<sup>2</sup>. Зруйновані повністю зерноочисне та розмельне відділення, склад готової продукції, виробничий комплекс та адміністративні будівлі. Матеріальні збитки склали близько 50 млн. марок. При вибуху одержали травми 17 осіб, загинули 14 осіб. Перший потужний вибух борошномельного пилу виник у відділенні фасування готової продукції. Потім сталися вибухи один за одним на суміжних ділянках виробництва, у виробничих корпусах та сховищі борошна місткістю 10 тис. тон. За інтенсивністю руйнувань, що сталися, вибух, за даними спеціалістів, еквівалентний дії 20 тон вибухової речовини.

Наступним підпитанням яке ми повинні розглянути при визначенні пожежної небезпеки технологічного процесу є визначення характерних джерел запалення.

Процеси механічної обробки речовин та матеріалів є пожежовибухонебезпечними. Для забезпечення їх пожежної безпеки вирішальне значення має запобігання утворення горючого середовища, запобігання появи джерел запалювання та обмеження шляхів поширення пожежі.

Для запобігання виникнення небезпеки та аварій на підприємствах велике значення має діяльність спеціалістів, які повинні в досконалості знати технологічний процес, своєчасно виявляти пожежонебезпечні ділянки і впроваджувати ефективні заходи щодо зниження небезпечної концентрації пилу.

Аварії, що виникають під час проведення гідромеханічних процесів, розглянемо на прикладі роботи коксохімічного підприємства, на якому у виробничих відділеннях використано величезну кількість апаратів. Так, основними виробничими відділеннями на коксохімічному підприємстві є:

- цехи вуглепідготовки з основним обладнанням: вагоноперекидач, конвеєр, дозатор, стрічковий дозатор, бункера;
- коксовий цех, обладнання: коксові батареї, що об'єднані в блоки, вугільна башта, гасильна башта з насосною та відстійниками, рампа, коксові машини для сортування вугілля;
- цехи уловлювання хімічних продуктів коксування: абсорбери, аміачні колони, скрубери для видалення фенолу, газові холодильники, конденсатори-холодильники, теплообмінники, регенератори, бензольні скрубери тощо;
- смолоперегінний цех – трубчасті агрегати продуктивністю по 50 000 т смоли в рік, пекові колони, фракційні колони, куби-реактори, теплообмінні апарати, ємності);
- цех ректифікації сирого бензолу – колони попередньої ректифікації з ковпачковими тарілками, куби для ректифікації.

Аналіз аварій, що сталися на коксохімічних заводах, показує, що найбільш небезпечними ділянками є газопровід коксового газу та виробниче об-

ладнання (скрубери, колони). Особливо небезпечним є період зупинки технологічних апаратів та трубопроводів на профілактичний огляд або ремонт. В цей період створюються всі благо сприятливі умови для утворення вибухонебезпечних концентрацій в результаті неповного видалення з апаратів горючих речовин, недостатньої продувки паром або інертним газом, негерметичного відключення апаратів від сусідніх з ними трубопроводів з паливом.

Розглянемо декілька прикладів пожеж та вибухів. На території Авдіївського коксохімічного заводу сталася пожежа. Встановлено, що відбулося загоряння перегрітого коксу на конвеєрній стрічці на території коксового цеху на висоті 20 м довжиною 70 м. Площа загоряння – 350 кв. м.

Так на Дніпровському коксохімічному заводі в Кам'янському стався вибух у смолоперегонному цеху внаслідок вибуху газоповітряної суміші з подальшим горінням бітуму. Площа пожежі склала близько 200 кв. м, вогнем пошкоджено технологічне обладнання.

На заводі ПрАТ «Запоріжжкокс» стався вибух ємності з газом без горіння внаслідок проведення зварювально-ремонтних робіт у цій ємності. Встановлено, що на даху збірника кінцевого охолодження коксового газу проводилися вогневі роботи із застосуванням газового пальника та електрозварювального апарату. При проведенні робіт вибухнув газ, що накопичився всередині ємності, який виходив назовні через розвантажувальний клапан у безпосередній близькості від виконання робіт.

Проаналізуємо безпеку процесів механічної обробки. Так, горючими матеріалами в цехах механічної обробки металів є мастила верстатів, у гідроприводах і системах охолодження ріжучого інструмента водно-масляні емульсії, гас та індустриальні оливи. Механічні цехи сучасних машинобудівних заводів мають розвинуті оливні комунікації, ємності і фільтри для очищення оливок, загальна кількість яких досягає сотень тон. Метал, що надходить на обробку, для захисту від корозії покритий змащенням, що разом з відходами потрапляє на транспортери, забруднює їх і створює умови для розвитку і поширення пожежі.

При механічній обробці металів утворюються значні сили тертя, внаслідок чого нагрівається оброблюваний матеріал, ріжучий інструмент і відходи (стружка). Ступінь розігріву металів залежить від їх механічних і технічних властивостей, швидкості різання, розмірів подачі ріжучого інструмента (товщини стружки) і якості заточення інструмента.

Особливу безпеку має механічна обробка деяких металів (магній, алюміній, титан, цинк, свинець, нікель) і їхніх сплавів, які у стані порошку, промасленої стружки, листів і пилу спроможні спалахувати від іскри або полум'я та вибухати при наявності горючих газів або парів, поглинаючи їх.

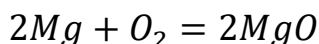
Наявність у металевому пилу оливок викликає їхній нагрів і розкладання, виділення горючих газів і зниження температури запалення металевих пилю. У цих умовах, наприклад, алюмінієвий пил може самозайматися при температурі 230 °С, тоді як температура самозаймання  $H_2$  дорівнює 580-590 °С. Активність металу (відсотковий вміст у порошку неокисленого металу) також впливає на самоzapалювання металевих порошків.

При одержанні порошку алюмінію в інертному середовищі розмелом у кульовому млині, при його розвантаженні в нормальному середовищі порошок займається при кімнатній температурі від контакту з повітрям. Самозапалювання відбувається через саморозігрів порошку (реакція окислювання активного металу киснем йде з підвищенням температури).

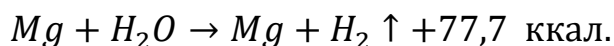
Магній – це метал срібисто-білого кольору, хімічно активний елемент, основа для багатьох сплавів; один із найбільш пожежонебезпечних металів. Небезпека магнію та його сплавів пояснюється великою швидкістю окислювання, яка залежить від ступеня його подрібнювання і нагрівання. У компактному вигляді при нормальній температурі вироби зі стандартних магнієвих сплавів практично не вогнебезпечні та не спалахують навіть при короткочасному контакті з відкритим полум'ям через високу теплопровідність. Вироби з магнію можуть загорятися після початку загального або місцевого відділення та появи перших часток рідкого металу. Магній і його сплави горять білим полум'ям. Температура початку горіння компактного магнію і його сплавів різноманітна і залежить від складу сплаву.

Так, найбільш типовими для галузі є небезпечна подія на Запорізькому титано-магнієвому комбінаті, яка сталася під час ремонту витяжної вентиляції цеху при проведенні газорізальних робіт на повітропроводі. Тоді сталися два послідовних вибухи титано-магнієвого пилу, що викликали руйнування повітропроводів, обвалення конструкцій і загибель 7 осіб.

Чистий магній спалахує при температурі 650 °С, його сплави спалахують при більш низькій температурі. При горінні магнію в атмосфері повітря температура досягає порядку 280 °С. Взаємодія магнію з киснем супроводжується реакцією:



У виробничих приміщеннях при обробці магнію і його сплавів виділяється велика кількість пилу і стружки. Запалення зваженого пилу магнію і його сплавів носить характер вибуху. Мінімальна вибуху дорівнює 20-25 мг/л, тиск при вибуху сягає 5 атм. Магній і його сплави добре взаємодіють з водою (особливо в подрібненому стані) із виділенням водню і тепла:



Запалювання вологого пилу з вмістом вологи від 4 до 48 % відбувається більш інтенсивно, ніж сухої. Взаємодія розплавленого магнію з водою і запалення зволоженого пилу носить вибуховий характер через водень, який виділяється, утворюючи з киснем повітря гримучу суміш. Магнієвий пил енергійно взаємодіє з азотом при температурі 400 °С, тому атмосфера азоту не може вважатися інертною. Розплавлений магній горить в атмосфері вуглецевого газу й окису вуглецю з відновленням вуглецю. Пил дисперсного магнію спалахує у вуглецевому газі при температурі 420-440 °С. Горить яскравим сліпучим блакитним полум'ям із виділенням білого диму з температурою до 5000 °С.

Основні профілактичні заходи при механічній обробці металів:

- зменшення кількості горючого порошку;
- зменшення пиловиділення шляхом добору оптимальних режимів роботи;
- запобігання залежуванню відходів;
- виключення окислювачу, джерел запалювання;
- контроль температури нагрітих поверхонь;
- заземлення устаткування;
- виключення потужних джерел тепла і випромінювання;
- відсутність контакту з повітрям, водою, усмоктування через вузли;
- додавання 4-6 % газу окисника в інертний газ для зниження активності металу.

Всі операції по завантаженню і розвантаженню порошку магнію повинні проводитися в інертних газах.

**Висновок.** В лекції розглянуто основні небезпеки, що виникають під час проведення технологічних процесів механічної обробки речовин та матеріалів. Процеси є пожежовибухонебезпечними. Розглянуто заходи щодо профілактики небезпек.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які небезпеки виникають під час механічної обробки матеріалів?
2. Проаналізуйте небезпеку виникнення аварії під час механічної обробки деревини.
3. Які основні профілактичні заходи при механічній обробці металів?
4. В чому полягає небезпека механічної обробки пластичних мас?
5. Які інженерно-технічні заходи виключають пошкодження технологічного обладнання під час проведення механічних процесів?

### **Рекомендована література**

1. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Харків: АЦЗУ МНС України, 2014. 374 с.
2. Гіроль М.М., Ниник Л.Р., Чабан В.Й. Техногенна безпека. Рівне: УДУВГП, 2004. 452с.

## ЛЕКЦІЯ 9

### НЕБЕЗПЕКА ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

#### ПЛАН

9.1 Сутність гідромеханічних процесів та технологічне обладнання для їх проведення

9.2 Характерні аварії під час проведення гідромеханічних процесів

Гідромеханічні процеси застосовують у різних галузях виробництва як одну з основних стадій. До них належать процеси перемішування та розділення неоднорідних систем, які залежно від фізичного стану поділяють на суспензії, емульсії, піни, дими, тумани, забруднені твердими частинками газу. Розглянемо методи розділення рідких і газових неоднорідних систем, а також конструкції апаратів, у яких реалізуються процеси розділення, порівняльний аналіз методів розділення неоднорідних систем.

#### **9.1 Сутність гідромеханічних процесів та технологічне обладнання для їх проведення**

Гідромеханічні процеси пов'язані з переробкою неоднорідних систем – потоків, рідин, газів, що несуть зважені дисперсні тверді частинки або краплі рідини і взаємодіють з оточуючим потік простором – стислим або нестиглим. Як передана субстанція в процесі є об'єми рідин чи газів.

Рушійною силою гідромеханічного процесу є різниця тисків на певному відрізку апарату. Для таких процесів кінетичне рівняння записується в такому вигляді:

$$\frac{V}{Ft} = \frac{\Delta P}{R}, \quad \text{або} \quad V = K \cdot \Delta P \cdot Ft \quad (9.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт швидкості (провідності потоку) перенесення об'єму рідинного середовища,

$\Delta P$  – різниця тисків – рушійна сила процесу, Н/м<sup>2</sup>,

$F$  – площа поперечного перетину потоку, м<sup>2</sup>,

$E$  – інтервал часу, протягом якого відбувається процес.

Під час проведення гідромеханічних процесів здійснюється осадження зважених в рідкому чи газоподібному середовищі часток під впливом сили тяжіння, відцентрової сили чи сил електричного поля, фільтрування рідин чи газів під впливом різниці тиску. Швидкість проведення гідромеханічних процесів визначається законами гідродинаміки. Процеси поділу є одними з основних процесів хімічної технології.

Найбільш небезпечні апарати для проведення гідромеханічних процесів: змішувачі, відстійники, електродегідратори, пилоосаджувальні камери, циклони, пилоуловлювачі, електрофільтри, фільтри, центрифуги, компресори,



насоси, транспортери, газгольдери, трубопроводи, резервуари. Поряд з перевагами експлуатації даних апаратів за наявності в них горючих речовин існують недоліки, що можуть призвести до виникнення тих чи інших аварійних ситуацій, що пов'язані з виникненням пожежі або вибуху.

1. Осадження. До найважливіших технічних способів осадження відносяться: осадження під впливом сили тяжіння (відстоювання), осадження під впливом відцентрової сили та осадження по дією сил електричного поля.

2. Фільтрування – поділ суспензій чи пилу з допомогою пористої перегородки – фільтру, здатної затримати зважені частки які перебувають у рідині чи газі. Розрізняють фільтрування під впливом перепаду тиску і відцентрове фільтрування (центрифугування).

3. Конденсація – зрідження парів різних речовин шляхом відводу від нього тепла. Розрізняють поверхневу конденсацію і конденсацію змішуванням.

4. Випарювання – процес концентрування розчинів твердих нелетучих речовин шляхом видалення рідкого леткого розчинника як парів.

6. Ректифікація – поділ рідких однорідних сумішей на складові речовини чи групи речовин, у результаті протиточної взаємодії паровий суміші і переробки рідкої суміші.

7. Екстракція – отримання однієї чи навіть кількох розчинених речовин з однієї рідини іншою рідиною, що частково змішується з першою. Одна з основних (поруч із ректифікацією) способів поділу рідких однорідних сумішей.

8. Сублімація – перенесення речовини з твердої фази в парову, минаючи рідку. Для сублімації характерна оборотність процесу.

Завдяки цьому можливо виділення сублімацією з суміші твердих речовин однієї чи кількох компонентів, потім у інших десублімація їх, тобто. виділення потрібного компонента з паровий фази в чистому вигляді.

Гідромеханічні процеси класифікуються за видом необхідної енергії, що необхідна для їх проведення.

Процеси поділу можна розділити на:

1. Механічні процеси поділу – витрачається тільки механічна робота (мембранний поділ, фільтрування, осадження);

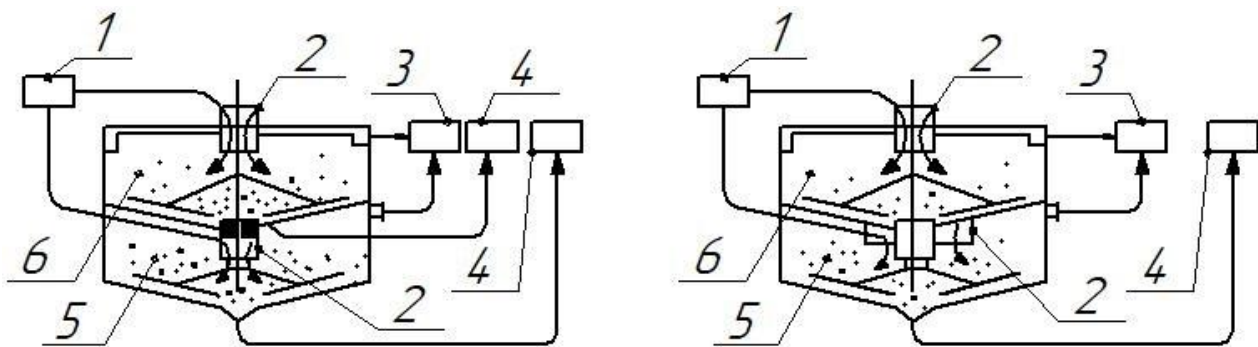
2. Термічні процеси поділу (ректифікація, випарювання, сублімація, конденсація);

3. Електричні процеси поділу (деякі процеси мембранного поділу, осадження під впливом електричного поля).

В установках центрифугування, мембранного поділу, в циклах адсорбції-десорбції, які проходять за рахунок зміни тиску, витрачається лише робота (механічний поділ. У окремих випадках число відведених потоків може більше і у таких випадках можна, зазвичай, уявити систему поділу як з'єднання окремих блоків.

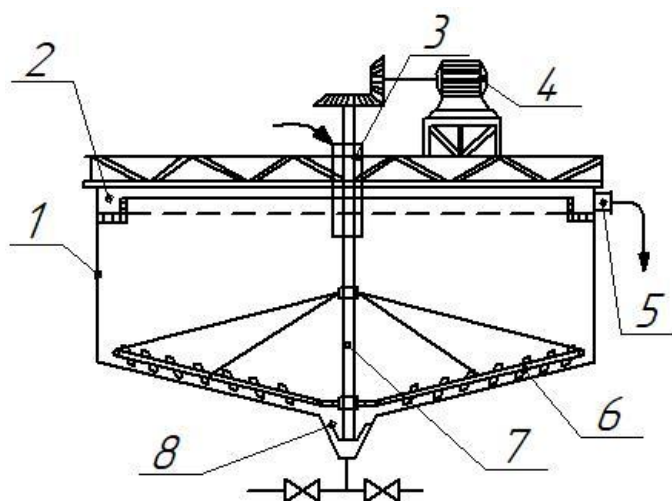
*Технологічне обладнання для проведення гідромеханічних процесів*

1. У хімічній промисловості найпоширеніший – відстійник безперервної дії:



**Рисунок 9.1 – Багатоярусний відстійник закритого (а) і збалансованого (б) типу:**

1 – розподільувач вихідної суспензії; 2 – труба-стакан для введення суспензії в яруси; 3-колектор для збирання рідини; 4 -збірник осаду (шламу); 5 – нижнє відділення; 6 – верхнє відділення



**Рисунок 9.2 – Відстійник безперервної дії**

1 – корпус; 2 – жолоб; 3 – труба для подавання суспензії ; 4 – електродвигун; 5 – патрубков для виведення рідини; 6 – лопаті з гребками; 7 – мішалка; 8 – розвантажувальний пристрій для осадження

### *Відстійник для емульсії*

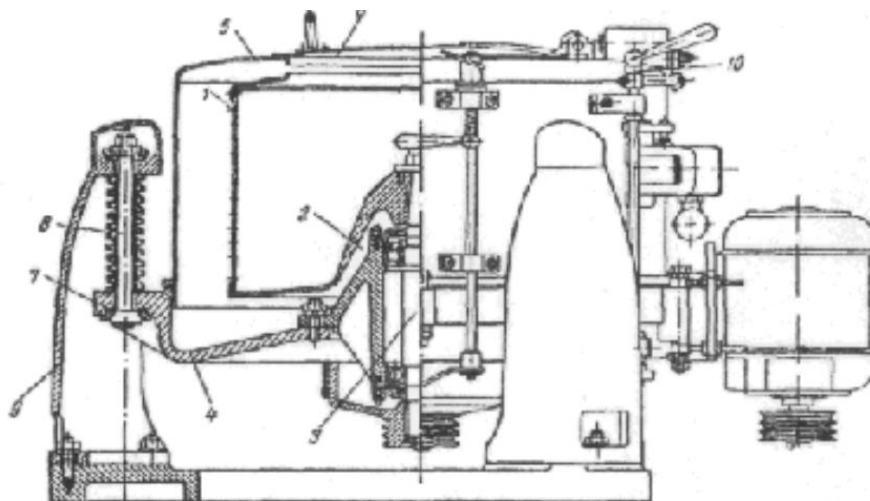
Фільтрування – поділ суспензії чи пилу з допомогою пористої перегородки – фільтру, здатного затримувати зважені частки, які перебувають у рідині чи газі. Розрізняють фільтрування під впливом перепаду тиску і відцентрове фільтрування.

### *Центрифугування*

*Центрифугуванням* називають процес розділення неоднорідних систем, а саме емульсій і суспензій, у полі відцентрових сил. Центрифугування здійснюють у машинах, які називають - центрифугами. Основною частиною центрифуги є барабан (ротор) із сушильною або перфорованою сіткою, що обертається зі значною швидкістю на горизонтальному або вертикальному валу. На внутрішній поверхні перфорованого барабану закріплено фільтрувальну тканину. Суспензія подається всередину барабану і під дією відцентро-

вих сил розділяється на осад і рідку фазу, яку називають *фугатом*. Фугат видаляється з ротору, а осад періодично або безперервно знімається спеціальними пристроями.

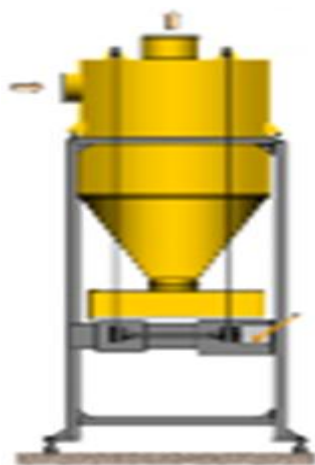
*Триколонна центрифуга* належить до нормальних центрифуг періодичної дії з ручним вивантаженням осаду. Розріз такої центрифуги фільтрувального типу показано на рис. 9.3.



**Рис.. 9.3 – Триколонна центрифуга:**

1 – перфорований ротор; 2 – опорний конус; 3 – вал; 4 – дно станини; 5 – нерухомий кожух; 6 – кришка кожуха; 7 – станина; 8 – тяга; 9 – стовпчик; 10 – ручне гальмо

Вихідна суспензія через отвір у кришці кожуха 5 подається у перфорований ротор 1, внутрішня поверхня якого покрита фільтрувальною тканиною. Конус 2, закріплений на верхньому кришці валу 3, який приводиться в обертотий рух від електродвигуна. Рідка фаза суспензії проходить крізь тканину (сітку) і отвори в стінці ротора та збирається в дні 4 станини, покритому нерухомим кожухом 5, відкіля приділяється для подальшої обробки. Осад, що утворився на стінках ротора, витягається, наприклад за допомогою лопатки, після відкриття кришки кожуха 6.



**Рис. 9.4 – Скрубер Вентурі**

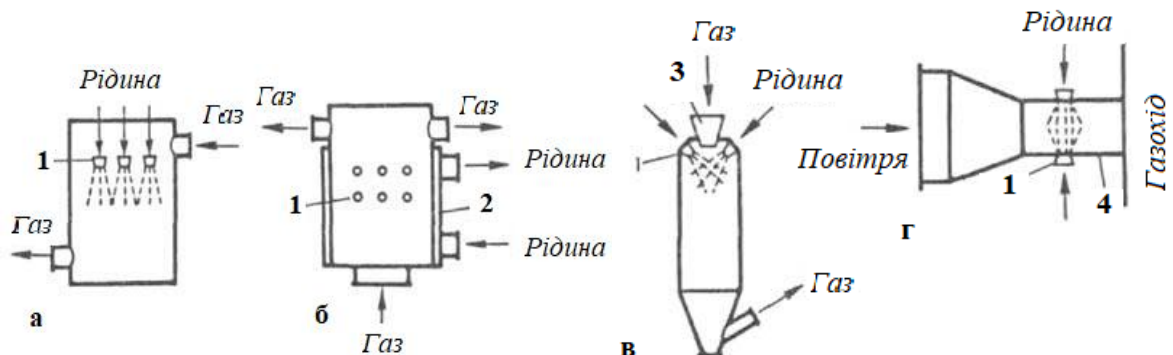
### *Скрубери*

Скрубери (англ. scrubber, от scrub – скребти, чистити), апарати різної конструкції для промивки рідинами газів з метою їх очистки та для видобування одного або декількох компонентів, а також барабанні машини для промивки корисних копалин.

В промисловості дуже часто використовують скрубер Вентурі. Він являє собою турбулентний пиловловлювач. Складається з турбулентного проми-

вача (трубки Вентурі), інерційного пило- і бризковловлювача та вологого прямооточного циклону. Продуктивність сягає 250000 м<sup>3</sup>/год, ефективність при розмірі частинок 1-2 мкм – 96-98%, а води використовується 0,4-0,6 кг/м<sup>3</sup> (рис. 9.4).

На рис. 9.5 наведено інші види скрубєрів: форсуночний, з зовнішньою сорочкою та з конфузорним підводом газів.



**Рисунок 9.5 – Конструкція апаратів випаровуючого охолодження**

а) форсуночний скрубєр; б) скрубєр з зовнішньою сорочкою, в) скрубєр з конфузорним підводом газів; г) пневматичний розпилюючий прилад

1 – форсунка; 2 – водяна сорочка; 3 – конфузорна насадка; 4 – горловина труби розпилювача

## 9.2 Характерні аварії під час проведення гідромеханічних процесів

Велика кількість різноманітних апаратів, в яких проходять гідромеханічні процеси використовуються в хімічних та нафтопереробних виробництвах. Аварії, що виникають під час проведення гідромеханічних процесів, виникають дуже часто.

Розглянемо характерні аварії на прикладі роботи коксохімічного підприємства, на якому в виробничих відділеннях використано достатня кількість апаратів. Так, основними виробничими відділеннями на коксохімічному підприємстві є:

- цех вуглепідготовки з основним обладнанням: вагоноперекидач, конвеєр, дозатор, стрічковий дозатор, бункера;
- коксовий цех, обладнання: коксові батареї, що об'єднані в блоки, вугільна башта, гасильна башта з насосною та відстійниками, рампа, коксові машини для сортування вугілля.
- цеха уловлювання хімічних продуктів коксування: абсорбери, аміачні колони, скрубєр для видалення фенолу, газові холодильники, конденсатори-холодильники, теплообмінники, регенератори, бензольні скрубєри тощо.
- смолоперегінний цех: трубчасті агрегати продуктивністю по 50 000 т смоли в рік, пекові колони, фракційні колони, куби-реактори, теплообмінні апарати, ємності).

– цех ректифікації сирого бензолу: колони попередньої ректифікації з ковпачковими тарілками, куби для ректифікації.

Аварії, що сталися на коксохімічних заводах, показує, що найбільш небезпечними ділянками є газопровід коксового газу та виробниче обладнання (скрубери, колони). Особливо небезпечним є період зупинки технологічних апаратів та трубопроводів на профілактичний огляд або ремонт. В цей період створюються всі благо сприятливі умови для утворення вибухонебезпечних концентрацій в результаті неповного видалення з апаратів горючих речовин, недостатньої продувки паром або інертним газом, негерметичного відключення апаратів від сусідніх з ними трубопроводів з паливом.

Розглянемо декілька прикладів пожеж та вибухів. На Ясиновському коксохімічному заводі стався вибух при проведенні газозварювальних робіт внаслідок попадання іскри в об'єм електрофільтру внаслідок недостатнього пропарювання електрофільтру. Утворилася вибухонебезпечна концентрація коксового газу з повітрям.

Так, в бензольно-скрубєрному відділенні Запорізького коксохімічному заводі при прориві ущільнення на верхньому фланцевому з'єднанні газовідводу бензольного скрубєра потоком коксового газу було винесено сульфід заліза, яке при контакті з повітрям спалахнуло і привело до спалахування коксового газу.

Вогнем було охоплено весь скрубєр, що був пофарбований кам'яновугільним лаком, а також газопровід та маслопровід. Солярове масло, що розлилося витекло в тунель з маслопроводами. По мірі вигорання прокладок на маслопроводі масло з домішками бензолу виливалося усередину тунелю, стався вибух. Під час пожежі обвалилися 3 ферми та покрівля насосної станції з боку скрубєрів на площі 150 м<sup>2</sup>, виникла незначна деформація верхньої частини скрубєра, обвалився перехідний майданчик між скрубєрами. Таким чином, пожежі та вибухи, що виникають на хімічних підприємствах приводять до великих руйнувань.

**Висновок.** Під час проведення гідромеханічних процесів виникають небезпеки, пов'язані з наявністю в них горючих речовин, та недоліки, що можуть призвести до виникнення тих чи інших аварійних ситуацій.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які процеси відносяться до гідромеханічних?
2. Назвіть технологічне обладнання, яке використовується під час проведення гідромеханічних процесів.
3. В чому полягає небезпека проведення центрифугування, фільтрування?
4. Наведіть основні небезпеки, що утворюються під час роботи гідромеханічного обладнання.

## Рекомендована література

1. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Харків: АЦЗУ МНС України, 2014. 374 с.
2. Ханик Я.М., Дубинін А.І., Станіславчук О.В., Білецька Л.З. Процеси та апарати хімічних технологій. Частина II. Гідромеханічні процеси. Перемішування Навчальний посібник. «Дистанційне навчання». № 39. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2006. 180 с.

## ЛЕКЦІЯ 10

### НЕБЕЗПЕКА ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСАХ ТА ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

#### ПЛАН

- 10.1 Сутність теплообмінних процесів. Технологічне обладнання
- 10.2 Небезпека виникнення аварій при проведенні процесів нагрівання горючих речовин теплоносіями

#### **10.1 Сутність теплообмінних процесів. Технологічне обладнання**

Нагрівання необхідно для прискорення багатьох хімічних реакцій, а також для здійснення процесів перегонки, ректифікації, сушіння, випарювання, плавлення, зниження в'язкості речовин. Хімічні, тепло- і масообмінні процеси тісно пов'язані з нагріванням, випарюванням, охолодженням і конденсацією.

Речовини, що мають більш високу температуру й використовуювані для нагрівання інших речовин, називають теплоносіями.

Речовини, використовуювані для охолодження інших речовин, називають холодоагентами агентами.

Залежно від умов технологічного режиму як джерела тепла використовують димові гази, електроенергію, повітря, як проміжних теплоносіїв – рідкі й пароподібні речовини. До рідких теплоносіїв відноситься вода, нафтові оливи, гліцерин, дифенільна суміш, кремній-органічні рідини, легкоплавкі розплави металів і ін. До газоподібних теплоносіїв – перегріту водяну пару, повітря, продукти згоряння твердого, рідкого й газоподібного палива й ін.

Теплоносії класифікуються в такий спосіб:

- прямі джерела тепла (полум'я й топкові гази, електричний струм);
- проміжні теплоносії (водяна пара, гаряча вода, нагріте повітря,);
- високотемпературні теплоносії (органічні рідини, розплави солей і металів, мінеральні оливи й т.д.);
- гарячі продукти виробництва (напівпродукти, відходи виробництва, кінцеві продукти). Крім зазначених теплоносіїв для нагрівання речовин застосовують електричну й атомну енергію.

Холодоагенти – це вода, розсоли, фреони, аміак, зріджені гази (пропан, бутан, етилен, азот і ін.).

Теплообмінні апарати застосовуються в різних галузях і використовуються для термічної обробки продуктів або підтримки постійної температури технологічної рідини. В останні роки значно збільшилася роль теплообмінників в областях ефективного використання енергії та застосування нових видів енергії. Будь який виробничий процес обумовлює термічні реакції і, відповідно, процес теплообміну. Таким чином, ефективне використання та економія енергії на підприємствах є на сьогоднішній день важливою областю застосування теплообмінників, будь то використання теплової енергії, отриманої когенераційними установками, або виробництво тепла за допомогою сонячних і геотермальних установок.

У процесах нафтопереробки потрібно підводити або відводити тепло, щоб забезпечити необхідні температури у відповідних апаратах. Для цих цілей служать спеціальні апарати, які називають теплообмінними або теплообмінниками. У теплообмінниках один потік віддає тепло, а інший його сприймає, тобто один потік нагрівається, а іншої охолоджується.

Залежно від призначення теплообмінні апарати діляться на групи:

- нагрівачі, випарники, кип'ятильники (основний процес нагрівання);
- холодильники, конденсатори (охолодження потоків або конденсація пар) кристалізатори (охолодження рідких потоків до температур утворення кристалів);
- регенеративні теплообмінники (використання тепла одного потоку для нагрівання іншого).

За способом передачі тепла розрізняють теплообмінні апарати:

- поверхневі (тепло передається через тверду поверхню, що розділяє середовища);
- змішування (передача тепла від одного потоку до іншого відбувається при їхньому контактуванні).

Способи передачі тепла:

- теплопровідністю (при зіткненні тіл або окремих частин одного тіла, що мають різні температури);
- конвекцією (перенос тепла з однієї крапки простору в іншу за допомогою руху середовища з області з однією температурою в область із іншою температурою);
- випромінюванням (процес переносу тепла, обумовлений перетворенням енергії молекул тіла в променисту енергію, випромінювана енергія передається тілу).

На НПЗ в основному застосовують поверхневі теплообмінні апарати, які класифікуються по конструктивних ознаках у такий спосіб:

- кожухо-трубчасті теплообмінники (твердого типу; з лінзовим компенсатором на корпусі; із плаваючою головкою; з U-подібною трубкою);
- теплообмінники типу «труба в трубі»;
- підігрівники з паровим простором (рибойлери);
- конденсатори-холодильники;
- конденсатори повітряного охолодження.

Розглянемо пристрій теплообмінних апаратів, які найчастіше застосовуються у нафтопереробці.

*Кожухо-трубчастий теплообмінник твердого типу* має циліндричний корпус, у якому встановлено трубний пучок, закріплений у трубних ґратах, у яких трубки кріпляться розвальцьовуванням або зварюванням. Корпус апарата закритий кришками. У середині корпусу встановлені перегородки, що створюють певний напрямок руху потоку й збільшуючи його швидкість у корпусі. Одне з середовищ теплообміну рухається по трубках, а інше – усередині корпусу між трубками. Через трубки пропускають більше забруднене середовище, а також середовище з меншим коефіцієнтом тепловіддачі, тому що очи-



щення зовнішньої поверхні трубок є важким, а швидкості руху середовища в міжтрубному просторі менше, ніж у трубках.

Оскільки температури середовищ, які обмінюються теплом, розрізняються, корпус і трубки мають різні розміри, що приводить до виникнення додаткового напруження в елементах теплообмінника. При великій різниці температур це може привести до деформації й навіть до руйнування трубок і корпусу, порушенню щільності розвальцьовування та ін. Тому теплообмінники твердого типу застосовують при різниці температур середовищ теплообміну не більше 50 °С. Для зниження температурного напруження і деформацій у теплообміннику застосовують температурні компенсатори. При цьому довжина трубок теплообмінника не повинна бути більше 2 м або різниця температур між кожухом і пучком труб не перевищувати 40 °С.

#### *Теплообмінники з лінзовим компенсатором на корпусі*

Застосовують для зменшення температурного напруження в апаратах твердого типу. Обладнання містить на корпусі лінзовий компенсатор, деформація якого забезпечує зниження температурних напружень у корпусі й трубках. Це зниження тим більше, чим більше число лінз у компенсаторі. Процес нагрівання можна вести при різниці температур між кожухом і пучком труб, що перевищує 50 °С.

#### *Теплообмінники із плаваючою головкою*

У цих апаратах один кінець трубного пучка закріплений у трубних ґратах, що пов'язані з корпусом, а другий може вільно переміщуватись щодо корпусу при температурних змінах довжини трубок. Це усуває температурні напруження в конструкції й дозволяє працювати з більшими різницями температур середовищ. Крім того, можливе чищення трубного пучка й корпусу апарату, полегшується заміна труб пучка. Однак конструкція теплообмінників із плаваючою головкою більш складна, а плаваюча головка недоступна для огляду при роботі апарату. Поверхня теплообміну кожухо-трубчастих теплообмінників може становити 1200 м<sup>2</sup> при довжині труб від 3 до 9 м, а умовний тиск досягає 6,4 МПа.

#### *Теплообмінники з U-подібними трубками*

Такі теплообмінники мають трубний пучок, трубки якого вигнуті у вигляді латинської літери U і кінці їх закріплені в трубних ґратах. Це забезпечує вільне подовження трубок незалежно від корпусу. Обладнання застосовують при підвищених тисках. Середовище, що направляється в трубки, повинна бути досить чистим, тому що очищення внутрішньої поверхні труб ускладнено.

#### *Теплообмінники типу «труба в трубі»*

У цих теплообмінниках одне з теплообмінних середовищ рухається усередині труб малого діаметра, а інша по кільцевому зазорі, утвореному трубами малого й великого діаметрів. Це дозволяє збільшити швидкість руху середовища й інтенсифікувати теплообмін.

Кожухо-трубчасті теплообмінники можуть установлюватися групами в горизонтальному положенні. Залежно від величини діаметра теплообмінника їх розташовують один над одним в три яруси (якщо діаметр до 0,6 м) або у два яруси (якщо діаметр більше 0,6 м). Кількість теплообмінників у кожній групі близько 16, відстань між групами менш 4 м.

Розглянемо способи нагрівання горючих речовин. Нагрівання водяною парою і гарячими продуктами переробки – найпоширеніший і зручний у виробничому відношенні метод. Для обігріву використовують насичену водяну пару при тиску 0,5...1,2 МПа, що дозволяє здійснювати нагрівання речовин до 180 °С. Обігрів можна робити «гострою» подачею водяної пари (подача пари безпосередньо в продукт, що нагрівається), або «глухою» подачею пари (тепло передається через поділяючу пару на теплообмінну поверхню).

«Гостру пару» використовують для нагрівання речовин, у випадках, коли за технологічними міркуваннями припустимо їхнє обводнювання, а також, коли одночасно під час нагрівання потрібне перемішування речовини або продувка від залишків горючої рідини та її пари. Гостру пару вводять через барботер безпосередньо в рідину, що нагрівається, при цьому пара конденсується й конденсат змішується з рідиною, їхні температури вирівнюються. При використанні гострої пари одночасно з нагріванням відбувається інтенсивне перемішування речовини, що іноді необхідно за технологічним процесом. Часто гостру пару використовують для продувки апаратів з метою звільнення їх від залишків горючої рідини та її пари.

Апарати для обігріву гострою парою мають трубу з отворами, виходячи з яких пара барботує через рідину. Такі труби називають барботерами.

Нагрівання «глухою парою» й гарячими продуктами переробки звичайно здійснюють за допомогою теплообмінників, у яких пара, конденсуючись, віддає своє тепло речовині, яка нагрівається, шляхом теплопередачі через поділяючу стінку (теплообмінну поверхню). Щоб уникнути непродуктивної витрати пари й безперешкодного видалення конденсату без випуску пари застосовують спеціальні пристрої – відвідники конденсату.

Найбільше поширення для нагрівання речовин за допомогою глухої пари мають підігрівники-теплообмінники різної форми: підігрівники із сорочкою; змієвикові теплообмінники (зігнуті труби діаметром до 76 мм), кожухо-трубчасті теплообмінники.

### *Нагрівання високотемпературними теплоносіями (ВТ)*

Як високотемпературні теплоносії можна використовувати перегріту воду, розплавлені солі й метали, мінеральну оливу й інші органічні рідини.

Використання ВТ дозволяє нагрівати продукти до 300-400 °С.

Однак використання перегрітої води для цих цілей натрапляє на більші труднощі, тому що збільшення температури перегрітої води з 200 до 370 °С веде до зростання тиску. Тому нагрівання перегрітою водою використовують рідко.

Розрізняють три групи ВТ.

1. Розплавлені неорганічні солі й суміші солей ( $KNO_3$ ,  $AlCl_3$ ) використовують найчастіше в якості проміжних високотемпературних теплоносіїв для спеціа-

льних установок і в атомних реакторах. З розплавлених солей найбільш зробленим теплоносієм є нітритнітратна суміш (40% азотистокиислового натрію, 7% азотнокислого натрію й 53% азотнокислого калію). Однак суміш ця дуже небезпечна, тому що при робочій температурі легко окисляється й нітрує органічні речовини, викликаючи пожежі й вибухи, а при підвищенні температури до 700-800 °С викликає окислювання металевих стінок апаратів і їхній швидкий прогар.

2. Рідко металеві ВТ (ртуть, натрій, калій і евтектичні суміші легкоплавких металів) використовують для спеціальних цілей, тому що ртуть має токсичні властивості, а лужні метали – пожежовибухонебезпечні.

3. Органічні високотемпературні теплоносії (ОТ) (мінеральні оливи – компресорні, циліндрові й ін., гліцерин, дифеніл, дифеніловий ефір). Оливи використовуються як проміжні носії для забезпечення більш плавного й рівномірного обігріву. Недолік олив – низька термічна стійкість, при нагріванні до високої температури масло розкладається з утворенням твердих і газоподібних продуктів (відкладення на теплообмінній поверхні й прогар).

Найбільш ефективними ОТ є: дифеніл ( $C_{12}H_{10}$ ), дифеніловий ефір ( $(C_6H_5)_2O$ ), дифенільна суміш, ароматизована олива Т-300 і мобільтер-600, дитолілметан, дикумилметан і ін. Ці рідини мають температуру кипіння при нормальному тиску від 250 до 350 °С та дозволяють при порівняно невисоких робочих тисках здійснювати нагрівання речовин до 300-350 °С.

*Установка для обігріву ОТ* являє собою замкнуту систему, аналогічну системам центрального опалення виробничих і житлових будинків. Циркуляція теплоносія може бути природною й примусовою.

*Основні елементи установки:*

- піч (з вогневим або електричним обігрівом), де відбувається нагрівання самого теплоносія;
- теплообмінні апарати, у яких відбувається передача тепла від органічного теплоносія, що нагріває, до речовини що нагрівається;
- система сполучних трубопроводів і насос, що забезпечують циркуляцію теплоносія.

Система обігріву в умовах, коли теплообмінні апарати підключені безпосередньо в контур котлоагрегату, називають одноконтурними. Система обігріву, коли до замкнутого контуру котлоагрегату підключена мережа, що безпосередньо харчує споживачів, називається двоконтурною.

## **10.2 Небезпека виникнення аварій при проведенні процесів нагрівання горючих речовин теплоносіями.**

Розглянемо небезпечні виробництва, де використовуються теплообмінні процеси. Так, на НПЗ в основному застосовують поверхневі теплообмінники. Розглянемо небезпеку й профілактичні заходи при нагріванні горючих речовин глухою парою, гарячими продуктами й ВТ.

Небезпека процесів нагрівання горючих речовин обумовлена фізико-хімічними властивостями речовин, що нагріваються (нафта, нафтопродукти),

теплоносіїв (оливи, органічні суміші). Нітрит-нітратна суміш – сильний окислювач, нітрує органічні речовини (пожежа, вибух); оливи при нагріванні розкладаються, виділяючи газоподібні продукти, які з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші.

Органічні високотемпературні теплоносії є горючими рідинами, нагріваються значно вище температури спалахування, але нижче температури самозапалювання. ОТ є термічно стійкими теплоносіями, вони можуть розкладатися при високих температурах з виділенням великої кількості газоподібних і твердих продуктів, що приводить до зміни фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостей теплоносія, підвищенню тиску в системі, прогару труб. Так, при тривалому використанні оливи АМТ-300 без видалення продуктів термічного розкладання, температура спалаху його може знизитися з 176 °С до 60 °С, тобто масло з розряду горючих рідин переходить у розряд легкозаймистих рідин, при цьому температура самозапалювання також зменшується з 330 °С до 230 °С, тобто стає нижче робочої температури в системі.

При використанні олив (АМТ-300, мобільтерм-600) вибухонебезпечні суміші можуть утворюватися не тільки за рахунок суміші пар з повітрям, але й у результаті утворення так званого масляного туману або дрібнодисперсного масляного аерозолі, що утворюється в результаті розпилення олив газоподібними продуктами, що перебувають у ньому, термічного розкладання в момент різкого зниження тиску при виході оливи назовні. Дрібнодисперсний аерозоль утворює у повітрі вибухонебезпечну концентрацію з нижньою концентраційною межею поширення полум'я 40 г/м<sup>3</sup>.

Дифенільна суміш дає можливість досягати температури 260-350 °С при тиску від 0,2-0,8 МПа, при цьому при тривалій роботі без перегріву не утворюються тверді відкладення, не виділяються газоподібні продукти розкладання. Вона має постійну температуру кипіння (258 °С), склад при цій температурі її не змінюється, отже в системі, навіть при невеликих перегрівках, не підвищується тиск (не виділяються газоподібні продукти розкладання), дифенільна суміш не має корозійні властивості.

За більш високих температур(450-560 °С) пожежна небезпека дифенільної суміші зростає, тому що спостерігається розкладання дифенільної суміші з утворенням великої кількості газів, пар бензину, фенолу, асфальтових продуктів і коксу, що підвищують тиск у системі. Дифенільна суміш має високу температуру плавлення, кристалізуються вже при температурі +12 °С, що приводить при зупинці системи до застигання рідини при низьких температурах. Пробка, що може утворитися приведе до розриву труби.

При нормальній роботі підігрівників-теплообмінників горюче середовище усередині них не утворюється, тому що відсутній пароповітряний простір (рідини, які використовуються як теплоносії займають весь обсяг трубок або весь простір, а горючі гази й пари або газоподібний теплоносії звичайно не містять кисню або інших окислювачів).

Пожежна небезпека при експлуатації теплообмінників виникає в результаті утворення нещільностей і ушкоджень. При цьому залежно від місця

ушкодження й співвідношення тисків нагрівається продукт, що буде виходити назовні, або попадати в теплоносій, або теплоносій попадати в продукт, що нагрівається .

Розглянемо випадки утворення небезпеки.

*1. З апарата виходить назовні горюча рідина.*

У результаті її розтікання й випари можуть утворитися місцеві горючі концентрації. Це відбувається, коли рідина нагріта вище температури спалаху, тобто, коли  $t_p > t_{сп}$ . При виході з апарата горючих пар або газів також може мати місце загазованість із утворенням горючих концентрацій.

*2. Продукт, що нагрівається, попадає в теплоносій.*

Якщо у якості теплоносія застосовується водяна пара, то при потраплянні в неї горючого продукту, що нагрівається (коли тиск продукту більше тиску пари) останній (горючий продукт) може пройти в паровий котел або в каналізацію, що може привести до утворення горючого середовища.

*3. Теплоносій (пара) попадає в продукт, що нагрівається.*

Це відбувається, коли тиск пари більше тиску продукту, що нагрівається. У результаті продукт обводнюється й може стати небезпечним для наступних технологічних операцій (при потраплянні у високонагріті апарати вода скипає, тиск підвищується).

Нещільності й ушкодження в теплообмінниках з'являються в результаті:

- утворення підвищеного тиску;
- температурних напружень;
- корозії.

Підвищений тиск у теплообміннику утворюється:

- при відсутності контролю й регулювання подачі продукту, що нагрівається, або теплоносія, що може привести до появи нещільностей у фланцевих з'єднаннях і витоків як речовини, що нагрівається, так і теплоносія;
- при утворенні пробок у трубках або в лінії за теплообмінником (тверді продукти термічного розкладання, продукти полімеризації);
- при перегріві рідин (до скипання). До перегріву продукту приводить збільшена подача теплоносія в порівнянні з розрахунковою або подача теплоносія з більш підвищеною температурою в порівнянні з розрахунковою.
- при порушенні циркуляції теплоносіїв, що мають високу температуру застигання (плавлення). Так, дифенільна суміш кристалізується вже при +12 °С і при зупинці установки при зниженні температури вона застигає в системі, що приводить до прогару труб печі, зливу теплоносія в піч і виникненню пожежі.

Забруднення апарату приводить до зниження інтенсивності теплообміну. Встановлено, що накип товщиною 1 мм знижує коефіцієнт теплопередачі приблизно на 10-16%, а товщиною 5 мм – на 40-50%. Відсутність своєчасного очищення теплообмінної поверхні приводить до зменшення продуктивності апарату й до необхідності подачі більш нагрітого теплоносія (підвищенню тиску насиченої пари).

### Виникнення температурних напружень

Умови роботи теплообмінників такі, що матеріал трубок і корпуси часто є під впливом неоднакових температур (корпус, наприклад, обмивається зовнішнім повітрям і менш нагрітий, а трубки більше нагріті). Температурні умови різко змінюються в періодично діючих підігрівниках, а також у періоди пуску й зупинки в безперервно діючих апаратах. При твердому кріпленні трубних ґрат до корпусу, а трубок до трубних ґрат можлива поява значних температурних напружень. Додаткові зусилля, що виникають у корпусі й трубках теплообмінника, залежать від різниці температур трубок і корпусу, матеріалу, з якого вони виготовлені, а також від площі поперечного перерізу. Більші внутрішні напруження в першу чергу приводять до деформації елементів апарату, порушують щільність його розвальцьовування й герметичність систем.

Температурні напруження в теплообмінних апаратах із жорстким з'єднанням корпусу і трубок визначають за формулами:

$$\delta_{\max}^{\kappa} = \frac{P_t}{F_{\kappa}} \pm \frac{P \cdot E_{\kappa}}{E_{\kappa} \cdot F_{\kappa} + E_T \cdot F_T} \quad (10.1)$$

$$\delta_{\max}^T = \frac{P_t}{F_T} \pm \frac{P \cdot E_T}{E_{\kappa} \cdot F_{\kappa} + E_T \cdot F_T} \quad (10.2)$$

де  $\kappa$  та  $t$  індекси, які відносяться до відповідних показників корпусу і труб;

$\delta$  – максимальні напруження в матеріалі, Па;

$F$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>;

Площа поперечного перерізу корпусу кожухо-трубчастого теплообмінника визначається за формулою:

$$F_{\kappa} = \pi \cdot D_{\kappa} \cdot S_{\kappa}.$$

де  $D_{\kappa}$  та  $S_{\kappa}$  – відповідно середній діаметр і товщина стінки корпусу теплообмінника.

Площа поперечного перерізу труб кожухо-трубчастого теплообмінника визначається за формулою:

$$F_T = \frac{\pi}{4} (d_z^2 - d_e^2) \cdot Z. \quad (10.3)$$

де  $d_z, d_e$  – відповідно зовнішній і внутрішній діаметр труб, м;

$Z$  – кількість труб у пучку;

$P_t$  – сила, що виникає між жорстко з'єднаними корпусом і трубами теплообмінника (за рахунок температурних напружень).

$$P_t = \frac{\lambda_T \cdot t_T - \alpha_K \cdot t_K}{\frac{1}{E_{\kappa} \cdot F_{\kappa}} + \frac{1}{E_T \cdot F_T}} \quad (10.4)$$

де  $t_T, t_K$  – розрахункові температури труб і корпусу теплообмінника, °С;

$P$  – сила, викликана тиском середовища в трубному і міжтрубному просторі, Па. Визначається за формулою:

$$P = \frac{\pi}{4} [(D_6^2 - Z \cdot d_3^2) \cdot P_M + Z \cdot d_6^2 \cdot P_T] \quad (10.5)$$

де  $D_6$  – внутрішній діаметр корпусу теплообмінника, м.

$P_M, P_T$  – відповідно тиск у міжтрубному і трубному просторі, Па.

Небезпека руйнування теплообмінників виникає, якщо  $\delta_{max}^k$  або  $\delta_{max}^T$  будуть більше за  $[d]$  (розрахункового припустимого напруження, що виникає в устаткуванні). Розрахункові припустимі напруження для апаратів з горючими рідинами та газами визначають за формулою:

$$[d] = h \cdot d_{доп} \quad (10.6)$$

де  $\eta$  – довідковий коефіцієнт, дорівнює в межах 0,9-1.

*Приклад аварії.* На одному із заводів з виробництва хімічних волокон відбулася аварія трубопроводу з викидом гарячої ароматизованої оливи у виробниче приміщення. Це супроводжувалося утворенням аерозолу (у результаті розпилення рідини за рахунок наявності в ній газоподібних продуктів розкладання, а також у результаті часткової конденсації пар оливи при змішанні з повітрям). Поширюючись по приміщенню, хмара аерозолу запалилася від зіткнення з високонагрітими поверхнями паропроводів або з несправним електросвітильником. Відбувся вибух і пожежа.

#### *Попередження аварій при проведенні теплових процесів небезпечних виробництв*

1. Організація теплообміну, вибір теплоносія (холодоагенту) і його параметрів здійснюється з урахуванням фізико-хімічних властивостей матеріалу, що нагрівається (охолоджується) з метою забезпечення необхідного теплотітання, виключення можливості перегріву й розкладання продукту.

2. Не допускається застосування теплоносіїв, що можуть утворити при хімічній взаємодії вибухонебезпечні продукти.

3. При передачі тепла через стінку передбачаються методи й засоби контролю й сигналізації про взаємне проникнення теплоносіїв, у випадку якщо це може привести до утворення вибухонебезпечної суміші.

4. Контроль за тиском і кількістю подаваного теплоносія, за тиском вступника на обігрів продукту, температурою на виході його з підігрівника.

5. Для усунення можливості потрапляння рідини, що нагрівається, у парову лінію встановлюють зворотний клапан.

6. Для попередження потрапляння конденсату водяної пари в рідину, що нагрівається, парові лінії обладнують пристосуваннями для відводу конденсату.

7. Устаткування кожухо-трубних теплообмінників різного виду температурними компенсаторами.

8. Плавний розігрів і охолодження теплообмінників.
9. Контроль за циркуляцією теплоносія й плавністю нагрівання. При припиненні циркуляції ОТ у системі припиняють роботу пальників і електро-нагрівачів.
10. Очищення від накипу, забруднень.
11. При зупинці на ремонт і очищенню апаратів видаляють повністю ОТ і продувають міжтрубний й трубний простір водяною парою.
12. Захист від розрядів статичної електрики.
13. Застосування іскробезпечного інструменту.
14. Передбачити засоби, що запобігають розвитку у теплообмінних процесах некерованих, самоприскорюваних екзотермічних реакцій.
15. Теплообмінні апарати з температурою зовнішньої поверхні вище 40-50 °С захищають теплоізоляцією.
16. Теплообмінники розміщують на відкритих площадках із твердим покриттям і ухилами для змивання водою продуктів, що розлилися.
17. Для обмеження розтікання горючих рідин площадки обгороджують з усіх сторін бортиком висотою не менш 0,14 м.
18. Котлоагрегати розміщують в ізольованих приміщеннях – котельнях.
19. Установку ОТ обладнують системою аварійного зливу.
20. Заміна просоченої горючими речовинами теплоізоляції.
21. Устаткування теплообмінників системами подачі піни або водяної пари для гасіння виниклої пожежі.

**Висновок.** Безпека процесів нагрівання горючих речовин досягається інженерними заходами профілактики, дотриманням протипожежного режиму при експлуатації установок нагрівання, а також застосуванням термічно стійких теплоносіїв.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які процеси відносяться до теплових?
2. Назвіть технологічне обладнання, яке використовується під час проведення теплових процесів.
3. Як класифікуються теплоносії?
4. Наведіть основні небезпеки, що утворюються під час роботи обладнання, де обертаються високотемпературні теплоносії.

### **Рекомендована література**

1. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Харків: АЦЗУ МНС України, 2014. 374 с.



# ЛЕКЦІЯ 11

## НЕБЕЗПЕКА ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

### ПЛАН

- 11.1 Сутність, закономірності й основні поняття масообмінних процесів
- 11.2 Сутність абсорбційних процесів
- 11.3 Небезпека проведення масообмінних процесів

#### **11.1 Сутність, закономірності й основні поняття масообмінних процесів**

Масообмін є основою різноманітних процесів розподілу і очищення речовин, які поєднуються у клас масообмінних процесів. Крім того, багато теплових процесів, такі, як прожарювання, конденсація, випарювання, випар, а також гідромеханічні – флотація, промивання газів, перемішування – супроводжуються масообміном. При проведенні хімічних процесів саме масообмін визначає швидкість підведення речовин у зону реакції й видалення продуктів реакції. *До масообмінних процесів відносяться:* сорбційні процеси: абсорбція, адсорбція, десорбція, іонний обмін, екстракція; *мембранні процеси:* ультрафільтрація, мікрофільтрація, електродіаліз, осмос, зворотній осмос, *рідинна екстракція, вилуджування* (екстракція з твердих тіл), *перегонка* (дистиляція, ректифікація). Таким чином, у всіх перерахованих вище процесах загальним є перехід речовини (або речовин) з однієї фази в іншу. *Процес переходу речовини (або декількох речовин) з однієї фази в іншу в напрямку досягнення рівноваги називають масопередачею.* На відміну від теплопередачі, яка відбувається звичайно через стінку, масопередача здійснюється, як правило, при безпосередньому контакту фаз (за винятком мембранних процесів). При цьому границя зіткнення, тобто поверхня контакту фаз, може бути рухомою (система газ-рідина, пара-рідина, рідина-рідина) або нерухомою (газ-тверде тіло, пара-тверде тіло, рідина-тверде тіло).

Багато масообмінних процесів пов'язані з нагріванням, випарюванням, охолодженням і конденсацією. Масообмін це перехід компонента, що розподіляється, з однієї фази в іншу часто супроводжується переносом інших компонентів у протилежному напрямку. Отже, у загальному випадку в процесі масопередачі відбувається перерозподіл компонентів між фазами (масообмін). Звичайно в такому процесі виділяють три стадії: 1) перенос компонента, що розподіляється, з об'єму фази, що віддає, до границі розподілу; 2) перехід цього компонента через границю розподілу фаз; 3) перенос компонента, що розподіляється від границі розподілу в об'єм приймаючої фази.

*Масообмін* включає масовіддачу (перенос речовини від границі розподілу в глиб фази) і масопередачу (перенос речовини з однієї фази в іншу через поверхню розподілу фаз).

*Перехід речовини з однієї фази в іншу через границю розподілу називають масопередачею, а перенос речовини усередині фази - з фази до границі*

розподілу фаз або навпаки – від границі розподілу у фазу називають масовіддачею (за аналогією із процесом переносу теплоти усередині фази-тепловіддачею).

Процеси масопередачі звичайно оборотні. Причому напрямок переходу речовини визначається концентраціями речовини у фазах і умовами рівноваги.

У загальному виді зв'язок між концентраціями компонента, що розподіляється, у фазах при рівновазі виражається залежністю:

$$y^* = f_1(x), \text{ або } x^* = f_1(y), \quad (11.1)$$

де  $y^*$  і  $x^*$  – рівноважні концентрації

Відношення концентрацій у фазах при рівновазі називається коефіцієнтом рівноважного розподілу:

$$m = y^*/x, \text{ а залежність } y^* = mx \text{ – законом рівноважного розподілу} \quad (11.2)$$

Процес переходу речовини з однієї фази в іншу в ізольованій замкненій системі, що полягає із двох або більшого числа фаз, виникає мимовільно й протікає доти, поки між фазами за даних умов температури і тиску не встановиться рухлива фазова рівновага.

У більшості випадків у масообміні беруть участь дві або більш фаз, у яких при рівновазі, як відомо, дотримується рівність температур і тисків, а також рівність хімічних потенціалів кожного компонента в співіснуючих фазах, однак, концентрації цільового компонента при рівновазі різняться. Рушійною силою переносу якогось з компонентів з однієї фази в іншу є, як відомо, різниця хімічних потенціалів цього компонента у взаємодіючих фазах. Перехід компонента відбувається в напрямку збування його хімічного потенціалу.

Оскільки хімічні потенціали компонентів сумішей є складними функціями складу, при аналізі процесів масопередачі звичайно розглядають зміну не хімічних потенціалів, а концентрацій компонентів. На практиці рушійну силу масообміну зручніше виражати саме через градієнт концентрацій.

Як відзначалося вище, масообмінні процеси протікають лише при порушенні фазової рівноваги. Тільки за цієї умові речовина, що розподіляється, переходить із однієї фази в іншу. При цьому розрізняють два види переносу речовини – молекулярний і конвективний.

Таким чином, в основі масопередачі лежать закони молекулярної і конвективної дифузії, масовіддачі та масопровідності. У нерухливому середовищі речовина, що розподіляється, переходить з внутрішніх шарів даної (першої) фази до поверхні розподілу фаз і, пройшовши її, розподіляється по всьому об'ємі іншої фази, що перебуває в контакті з першою.

Дифузія (від лат. diffusio – поширення, розтікання, розсіювання), перенос часток різної природи, обумовлений хаотичним тепловим рухом молекул (атомів) в одно – або багатокомпонентних газових або конденсованих середовищах. Такий перенос здійснюється при наявності градієнта концентрації часток або при його відсутності; в останньому випадку процес називається са-

модифузією – випадкове переміщення часток середовища, хімічний склад якого при цьому не змінюється *Рівняння масопередачі. Залежність між коефіцієнтами масопередачі й масовіддачі.* Основним кінетичним рівнянням масообмінних процесів є рівняння масопередачі, яке засновано на загальних кінетичних закономірностях хіміко-технологічних процесів. Відповідно до загальних кінетичних закономірностей хіміко-технологічних процесів швидкість процесу прямо пропорційна рушійній силі та обернено пропорційна опору. Отже,

$$dM/dfdt = D/R \quad (11.3)$$

де  $dM$  – кількість речовини, яка перейшла з однієї фази в іншу;  
 $df$  – поверхня фазового контакту;  
 $dt$  – час масопередачі;  
 $R$  – опір;  
 $\Delta$  – рушійна сила масопередачі ( $\Delta x$  або  $\Delta y$ ).

Опір  $R$  у кінетичних рівняннях звичайно заміняють зворотною величиною – коефіцієнтом швидкості  $K=1/R$ . Тоді рівняння 11.3 можна представити у вигляді:

$$dM = K\Delta dFdt \quad (11.4)$$

Рівняння (11.3) зветься *основним рівнянням масопередачі*. Коефіцієнт швидкості  $K$  у рівнянні (11.4) – *коефіцієнт масопередачі* – показує, яка кількість речовини переходить із однієї фази в іншу в одиницю часу через одиницю поверхні контакту.

## 11.2 Сутність абсорбційних процесів

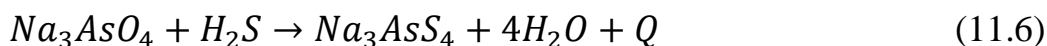
Розглянемо в якості прикладу масообмінного процесу сорбційний процес. Для поділу й очищення газових і парових сумішей, хімічних продуктів найчастіше використовують сорбційні процеси, в основі яких лежить виборча здатність до поглинання окремих компонентів суміші. На промислових підприємствах приходиться здійснювати не тільки процеси поділу розчинів на складові їхні компоненти, але і процеси поділу газових і парових сумішей.

*Сорбція* – поглинання газів, парів і розчинених речовин твердими тілами і рідинами, тобто це такі процеси, при яких поглинання речовини відбувається на поверхні розподілу двох фаз (газ-рідина, газ-тверда речовина, рідина-тверде тіло) незалежно від механізму поглинань. Існують наступні види сорбції: адсорбція, абсорбція, хемосорбція, капілярна конденсація.

Розглянемо процеси абсорбції й адсорбції, тому що газові і парогазові суміші, що надходять на сорбцію, і речовини, використовувані як сорбенти, часто бувають горючими; сорбційні установки в цих випадках відрізняються пожежовибухонебезпекою.

У промисловості процеси абсорбції широко застосовуються для виділення необхідних компонентів з газових сумішей (наприклад, виділення аміаку, парів бензолу й ін. речовин з коксового газу), для очищення газових сумішей від шкідливих домішок (наприклад, очищення природного газу від сірководню, для санітарного очищення газів, що відходять, від сірчистого ангідриду та ін.), як основна технологічна стадія ряду найважливіших виробничих процесів (наприклад, абсорбція сірчаного ангідриду у виробництві сірчаної кислоти, абсорбція хлористого водню у виробництві соляної кислоти та ін.).

Абсорбція – процес виборчого поглинання парів або газів з газових чи парогазових сумішей рідкими поглиначами – абсорбентами. Суміш парів або газів, що направляється на абсорбцію називають абсорбтивом, а речовину, що використовують як поглинач – називають абсорбентом. Процеси абсорбції є процесами селективними, тобто виборчими. Це значить, що кожен абсорбент найкраще поглинає якісь визначені гази або пари; інші складові газові суміші їм не поглинаються або поглинаються незначно. Ця властивість абсорбентів дає можливість у всіх випадках підібрати необхідні поглиначі і здійснити поділ гомогенної газової суміші. Якщо, наприклад, потрібно очистити природний газ, коксовий газ чи інші газові суміші від сірководню, що є шкідливою домішкою, підбирають таку рідину, що добре б розчиняла сірководень або давала б з ним нестійкі сполуки (легко руйнуються). Таких поглиначів декілька – етаноламінові розчини  $((C_2H_4OH)NH_2$  – моноетаноламін), миш'яководові, мідно-аміачні розчини та ін. Процес поглинання в цьому випадку йде з утворенням наступних хімічних сполук:



При виділенні ацетилену з газів піролізу метану (одержання ацетилену термоокислювальним піролізом чи електрокрекінгом природнього газу) використовують такі поглиначі як диметилформамід, метилпіролідон, ацетон, метиловий спирт, зріджений аміак. При уловлюванні ароматичних сполук з коксового газу застосовують солярове масло. На практиці абсорбент підбирають таким чином, щоб він був практично нелетким.

Основним законом рівноваги системи газ-рідина є закон Генрі, згідно якого в стані рівноваги парціальний тиск  $P$  розчиненого газу над розчином пропорційний його мольній частці  $x$  в розчині:

$$P = Y \cdot x \quad (11.7)$$

де  $P$  – парціальний тиск газу над рідиною;

$x$  – мольна частка газу, розчиненого в рідині;

$Y$  – коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт Генрі або константа Генрі, що залежить від природи речовини, що розчиняється і температури).

Тобто розчинність газу (чи компонента, що поглинається) у рідині при даній температурі пропорційна його парціальному тиску над рідиною. Рушійною силою процесу абсорбції, що обумовлює перехід речовини з газу в рідину, є різниця між робочими концентраціями компонента в газі й у рідині. Якщо концентрація в газовій фазі компонента, який уловлюють, більше, ніж у рідині, то йде процес розчинення, тобто уловлювання компонента; у протилежному випадку поглинений компонент буде виділятися з абсорбенту. Процеси абсорбції, як правило, екзотермічні. Тепло, що виділяється буде підвищувати температуру процесу, що викликає зниження поглинальної здатності рідини, і умови абсорбції будуть погіршуватися. Отже, процес абсорбції доцільно вести при зниженій температурі і підвищеному тиску.

У промисловості процеси абсорбції звичайно проводять в апаратах колонного типу, що називаються абсорберами, чи скруберами. Абсорбери бувають насадочні, тарілчасті, барботажного типу, розпилюючі розприскуючі. Конструктивно вони мало чим відрізняються від ректифікаційних колон, хоча процеси, що протікають в абсорберах (утворення розчинів) протилежні процесам, що протікають у ректифікаційних колонах (поділ розчинів).

*Процес зворотного витягу з абсорбенту уловленого компонента (процес десорбції) здійснюється по-різному. Існують такі способи десорбції: ректифікація, нагрівання чи окислювання киснем повітря (при одержанні нестійкої хімічної сполуки; відгін у струмі інертного газу або водяної пари. Десорбцію здійснюють шляхом підведення тепла до абсорбенту і шляхом зниження тиску над абсорбентом. Звільнений від поглиненого газу абсорбент охолоджується і знову повертається в абсорбери. Процеси абсорбції і десорбції звичайно здійснюють на одній установці, що включає абсорбер і десорбер. Регенований абсорбент повертають в абсорбер.*

Таким чином, абсорбційні процеси мають величезне значення в промисловості і вирішують важливі задачі по виділенню цінних компонентів з газових сумішей, очищенню газових сумішей від шкідливих домішок, є важливими технологічними процесами у виробництві багатьох речовин і матеріалів. У свою чергу розповсюдження сорбційних процесів в промисловості та підвищена пожежна небезпека роблять актуальним їх вивчення.

### **11.3 Небезпека проведення масообмінних процесів**

В якості абсорбентів в багатьох випадках використовуються горючі рідини, а газові і парогазові суміші часто теж горючі. Тому велика кількість абсорбційних установок пожежовибухонебезпечна.

Дуже часто суміш невибухонебезпечної вихідної суміші при проходженні через абсорбер міняється і стає вибухонебезпечною. У цих умовах необхідно застосовувати, газові суміші, що виключають можливість спалахування або вибуху. Однак при абсорбції газових сумішей не завжди забезпечуються умови, що виключають аварії, найчастіше відбуваються випадки вибухів в апаратурі воднево-повітряної суміші при абсорбції водою хлористого водню.

Так, на одному з заводів з виробництва синтетичної соляної кислоти на установці абсорбції хлористого водню відбувся вибух у газовому холодильнику, що знаходиться за абсорбером. Вибухом було зруйновано газовий холодильник, комунікації і частково абсорбер. Вибухонебезпечна суміш водню з повітрям утворилася в результаті того, що під час пуску печі синтезу хлористого водню в абсорбер було подано газ, що містить велику кількість водню. На вході в скруббер газ не був вибухонебезпечний. При поглинанні водою хлористого водню концентрація водню в газовій суміші зростає й в апараті утворилася вибухонебезпечна суміш водню з повітрям.

Пожежна небезпека процесів абсорбції обумовлюється фізико-хімічними і пожежовибухонебезпечними властивостями застосовуваних речовин (речовин, що направляються на поділ і поглиначів) їхньою кількістю, режимом роботи абсорберів і іншого устаткування.

Кількість горючих речовин, що циркулюють і постійно знаходяться в апаратах технологічної установки та її трубопроводів, залежить від продуктивності установки по абсорбтиву й абсорбенті, від розмірів апаратів, кількості й розмірів проміжних ємностей з абсорбентом.

Кількість горючих речовин, що обертаються в абсорбційній установці, можна визначити з рівняння матеріального балансу.

Нехай рідка фаза  $G_p$  подається на абсорбцію зверху з початковою концентрацією  $x_n$  і виходить з апарата з концентрацією  $x_k$ ; газова фаза  $G_2$  входить в апарат знизу з концентрацією  $y_n$  і виходить з апарата зверху з концентрацією  $y_k$ .

$$X_k > X_n, \quad Y_k < Y_n \quad (11.8)$$

$$G_{см}(y_n - y_k) = G_{аб}(x_k - x_n) = G_{ногл} \quad (11.9)$$

де  $G_{см}$  – кількість газової і парової суміші, що надходить на абсорбцію;  
 $y_n, y_k$  – початкова і кінцева концентрації компонента, що поглинається, у газі;

$G_{аб}$  – кількість абсорбенту, використовуваного для поглинання компонента, що вилучається;

$X_n$  та  $X_k$  – початкова і кінцева концентрації компонента, що поглинається, в абсорбенті;

$G_{ногл}$  – кількість поглиненого газу або пари.

Отже: 
$$G_{аб} = G_{см} \frac{y_n - y_k}{x_k - x_n} \quad (11.9)$$

З отриманого рівняння видно, що необхідна кількість горючого абсорбенту залежить не тільки від початкового параметра абсорбтива але і від повноти уловлювання, а також від величини припустимої кінцевої концентрації насиченого абсорбенту і повноти витягу компонента, що уловлюється, при десорбції абсорбенту.

При нормальній роботі усередині абсорберів концентрація газо-парової фази знаходиться поза межами запалення, тому що суміші, що надходять на

абсорбцію, найчастіше не містять кисню. Якщо ж на абсорбцію надходить паро- чи газоповітряна суміш, можливі два випадки:

– початкова концентрація горючих компонентів більше верхньої концентраційної межі поширення полум'я. У процесі абсорбції концентрація горючих компонентів буде зменшуватися і на визначеному етапі може проходити концентраційні межі;

– початкова концентрація горючих компонентів менше нижньої концентраційної межі поширення полум'я. Тут можливі два варіанти (у залежності від величини робочої температури в абсорбері і нижньої температурної межі поширення полум'я абсорбенту).

При  $t_p < t_n$  горючі концентрації не утворюються. Це має місце при нормальній роботі, коли в абсорберах підтримується невелика робоча температура (процес поглинання йде краще при відносно низьких температурах).

При  $t_p > t_n$  можуть утворитися горючі концентрації. Це може бути при порушеннях режиму охолодження абсорбенту або вихідної газової суміші, що надходить на абсорбцію, у результаті яких температура в абсорбері буде підвищуватися.

Що ж може стати причиною підвищення температури в абсорбері?

Перш за все це підвищення температури в абсорбері при порушенні режиму охолодження абсорбенту (чи суміші), яке можна визначити виходячи з наступних розумінь.

Оцінюючи небезпеку утворення горючих концентрацій в проміжних ємностях, тобто в ємностях, де знаходиться насичений компонентом абсорбент, необхідно враховувати не тільки наявність у них парів самого абсорбенту, але і тих парів або газів, що поглинаються і будуть виділятися з абсорбенту.

Варто враховувати також, що при заповненні проміжних ємностей насиченим абсорбентом не виключена можливість утворення місцевих горючих концентрацій у районі викиду пароповітряної суміші назовні через дихальні труби.

Значна пожежна небезпека виникає при ушкодженні і руйнуванні абсорбційних установок, причиною яких можуть бути підвищення тиску і корозія.

*Підвищення тиску в абсорбційних установках буває при зниженні рівня рідини, що знаходиться в нижній частині абсорбера. У цьому випадку газова фаза може безперешкодно виходити з абсорберів назовні через проміжні ємності, а при відсутності проміжних ємностей газова фаза першого абсорбера буде надходити в десорбційні колони, що викликає підвищення тиску, тому що колони майже завжди працюють при меншому тиску, чим абсорбери.*

Приклад ненадійної роботи регулятора рівня. Так, при виробництві аміаку на абсорбері, що працює під тиском 32 МПа, відмовили в роботі прилади, рівень рідини понизився, і газ з абсорбера через відкритий клапан поширився в суміжну апаратуру низького тиску (де ведуть десорбцію), відбувся вибух:

- при зростанні гідравлічного опору шару насадки (чи тарілок) скрубєрів;
- при забрудненні насадки відкладеннями солей і інших твердих домішок.

Деякі гази при абсорбції здатні до різних фізико-хімічних перетворень з наступним нагромадженням продуктів, що утворюються, в апараті, що актив-

ні і можуть за певних умов розкладатися з вибухом. Вибухове розкладання нестабільних хімічних сполук відбувається тоді, коли така речовина знаходиться в сухому стані (у зволоженому – безпечно).

Так, на хімічному заводі скруббер зрошували не постійно, а з перервами, нітрозні ж гази подавали безупинно і це привело до того, що на сухій насадці накопичився нітрат амонію, який утворився в скруббері, мимовільне розкладання якого відбулося з вибухом.

Причинами ушкодження абсорберів є також інтенсивна корозія матеріалів абсорбційних установок, помилки в апаратурному оформленні абсорбційних установок і ін. При уловлюванні чи наявності в газовій суміші домішок, що викликають корозію, а також при використанні поглиначів у виді водяних розчинів кислот і лугів може мати місце інтенсивна корозія виробничого устаткування.

Помилки в апаратурному оформленні системи абсорбції часто є причиною аварій на виробництві. Так, аварія при виробництві аміаку сталася при відмиванні газів з окису вуглецю відбувся вибух у колекторі для фракції окису вуглецю при пуску агрегату. Дослідження причин аварій показало, що були відсутні необхідні гідрозатвори і схема продувки інертним газом.

Частими є пожежі і вибухи в збірниках відпрацьованих вод, насичених вибухонебезпечними газами.

*Таким чином, небезпека абсорбційних процесів характеризується:*

- властивостями пароповітряної суміші;
- кількістю і властивостями горючих речовин, що циркулюють в якості абсорбента;
- продуктивністю, розмірами абсорбційної установки, справністю апаратурного оформлення;
- можливістю утворення ГС, умовами появи джерел запалювання і шляхів поширення пожежі.

*Заходи щодо запобігання аварій під час проведення масообмінних процесів*

- застосування систем автоматичного регулювання робочого тиску, температури, рівня рідини в абсорберах;
- застосування пожежонебезпечних абсорбентів (метилпіролідон, диметилформамід);
- контроль за температурою і тиском в абсорберах;
- установка гідравлічних затворів на лініях, що відводять абсорбент;
- очищення абсорбера від забруднень і відкладень;
- застосування антикорозійних металів;
- своєчасне очищення від пірофорних сполук;
- повільне окислювання в процесі продувки апаратів водяною парою;
- зволоження стінок апарата;
- заземлення устаткування;
- дотримання температурного режиму процесів;
- дотримання режиму ведення технологічного процесу;



- контроль за справністю електродів у електрофільтрах;
- своєчасне очищення устаткування від пірофорних відкладень;
- застосування іскробезпечного інструмента;
- захист від статичної й атмосферної електрики.
- устаткування абсорбційних установок системою пожежегасіння;
- розміщення абсорбційних установок на відкритих площадках;
- захист повітроводів і ліній при виході їх з виробничих приміщень вогнеперешкоджувачами;
- очищення пароповітряної суміші від механічних домішок (пилу, ниток, пуху й ін.), пристрій мокрих фільтрів (наприклад, масляних або циклонів);
- захист повітроводів мембранними вибуховими клапанами (у випадку, якщо можливо детонаційне горіння);
- пристрій засувок на робочих місцях і повітроводів для відключення ліній у випадку пожежі.

**Висновок.** Безпека масообмінних процесів досягається інженерними заходами профілактики, дотриманням протипожежного режиму при експлуатації установок нагрівання, а також застосуванням термічно стійких теплоносіїв.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які процеси відносяться до масообмінних?
2. Назвіть технологічне обладнання, яке використовується під час проведення масообмінних процесів.
3. Наведіть рівняння масопередачі.
4. Наведіть основні небезпеки, що утворюються під час роботи обладнання, де відбуваються абсорбційні процеси.
5. Які існують заходи профілактики небезпек під час проведення масообмінних процесів?

### **Рекомендована література**

1. Коваленко І.В., Малиновський В.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник. К.: Інрес: Воля, 2005. 264 с.
2. Яцков М.В. Типові технологічні процеси і об'єкти: навч. посіб. для студ. вищ. навч. Закл. Український держ. ун-т водного господарства та природокористування. Рівне: УДУВГП, 2004. 245 с.
3. Роянов О.М. Пожежна безпека виробництв: курс лекцій. Для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» спеціалізації «Охорона праці» денної та заочної форми навчання. Освітній ступінь «бакалавр». Х.: НУЦЗУ, 2016. 420 с.
4. Ільяшенко Т.О., Чулінда А.А., Белоусов І.О. Радіаційно, хімічно, біологічно небезпечні об'єкти. Частина 1. Хімічно небезпечні об'єкти: навч. посіб. Х.: ВІТВ НТУ ХПІ, 2019. 152 с.

## ЛЕКЦІЯ 12

### НЕБЕЗПЕКА ВИНИКНЕННЯ АВАРІЙ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

12.1 Основні хімічні процеси та апарати

12.2 Причини виникнення аварій під час проведення хімічних процесів

#### 12.1 Основні хімічні процеси та апарати

Хімічна промисловість України включає сьогодні більше 80 об'єднань і підприємств, що виробляють близько 2-х десятків тисяч найменувань хімічної галузі. Найбільш великими хімічними об'єктами України є ВАТ «Азот» (м. Рівне), Черкаське ВАТ «Азот», Черкаське ВАТ «Хімволокно», ВАТ «Сумихімпром», Державне підприємство «Аргентум» (м. Львів), Одеський державний припортовий завод, Северодонецьке ДВ «Об'єднання Азот», ВАТ «Укрпластик», ВАТ «Дніпрошина», Запорізьке ДП «Кремній полімер» та ін. На відміну від інших хімічних виробництв, на цих об'єктах виробництво промислової продукції практично не перетерпіло змін.

Найбільший приріст випуску продукції спостерігався у виробництві базової хімічної продукції – 13,8%, лакофарбових матеріалів – 19,4%, виробництва товарів побутової хімії – 11,4%, хімічних волокон та ниток – 63,2%, випуск пластмасових виробів зріс на 45,5%, випуск гумових виробів – на 42,2%. Слід відмітити, що в галузі нарощуються обсяги виробництва сірчаної кислоти, каустичної соди, кальцинованої соди, хлору, адипінової кислоти, вуглеводнів, пластмас, шин. Зростає також експорт хімічної продукції – синтетичний аміак, кальцинована сода, хлорвініл, оцтова та адипінова кислоти, етилен, пропілен, бензол, мінеральні добрива (карбамід).

Аналіз стану і перспектив розвитку хімічної галузі дозволив виділити основні напрямки хімічного виробництва, де необхідна стратегія промислової безпеки. Це такі потенційно небезпечні виробництва: виробництво аміаку, мінеральних добрив (аміачна селітра, карбамід), пластмас, лаків та фарб.

На жаль сьогодні продукція галузі є не конкурентною. Матеріалоємність та енергоємність основних хімічних виробництв у 1,5-5 разів вища, ніж в іноземних державах, 80-88% основних фондів морально застаріли. Іноземні інвестиції в хімічну галузь становлять лише 5%, хоча галузь є однією з найбільших експортерів в економіці України: 75% усіх обсягів випуску хімічної продукції йде на експорт, з них 80% становлять мінеральні добрива.

Одними з пріоритетних напрямків роботи наукових установ хімічної галузі є розробка енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій, а також утилізація небезпечних відходів (наприклад, утилізація сірководневих газів). Сьогодні важливим є забезпечення виробництва шин (автомобільних та авіаційних) полімерною сіркою, яка застосовується як вулканізуючий агент. Також полімерна сірка застосовується як домішка до бетонних та асфальтових композицій, що різко покращують експлуатаційні характеристики дорожніх покриттів. Виробництва полімерної сірки в країнах, що входили до СНД,

немає. Приблизно 80% об'єму світового випуску сірки виробляється із природного газу.

Забезпечення безпеки промислових об'єктів є складною задачею, тому що насамперед залежить не тільки від правильної оцінки пожежовибухонебезпеки процесів, але і знання характерних небезпек технологічних процесів, поглибленого їхнього аналізу, виділення найбільш небезпечних об'єктів, виходячи з особливостей розвитку галузі в цілому. Найбільш пожежовибухонебезпечними об'єктами є виробництва з обертанням горючих речовин і матеріалів, виробництва, пов'язані з веденням процесів при критичних параметрах (тиск, температура й ін.), зі складним апаратурним оформленням. До таких об'єктів слід віднести газо- і нафтопроводи, об'єкти хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної промисловості, склади нафти і нафтопродуктів, об'єкти енергетики, виробництва з обертанням пилу і волокон та ін.

Хімічні процеси пов'язані з хімічними перетвореннями речовин, що приймають участь у виробництві нових сполук. Такі хімічні процеси, як крекінг, піроліз, риформінг, ізомеризація, полімеризація, дегідрування використовуються в нафтопереробній, нафтохімічній та хімічній галузях; окислення, газифікація, гідрогеноліз, коксування, відновлення, електроліз – в енергетичній галузі, паливній та металургійній. Гідрогенізація, омилення, ксантогенування, гідроліз – в різних галузях виробництва в харчовій, текстильній та паперовій. Обладнання для проведення хімічних процесів дуже різноманітне: реактори, печі різних видів, колони синтезу і варильні котли, автоклави і електролізери та інше обладнання.

Розглянемо небезпеку характерних пожежовибухонебезпечних хімічних процесів і основного технологічного устаткування хімічних об'єктів.

### *Призначення і класифікація хімічних реакторів*

До числа апаратів і механізмів з підвищеною небезпекою та вибухонебезпекою відносяться: абсорбери й адсорбери для вибухонебезпечних і токсичних середовищ; автоклави; випарні апарати; ксантогенатори у виробництві віскозних волокон; компресори всіх типів і призначень; колони конденсації і синтезу аміаку; полімеризатори; реактори дегідрування; ректифікаційні колони; реактори, що працюють під тиском вибухонебезпечних середовищ і ін.

Захист хімічних процесів, здійснюваних у різних виробництвах хімічної промисловості, пов'язаний з необхідністю вивчення пожежовибухонебезпеки технологічного устаткування.

Основний апарат для проведення хімічних реакцій – реактор хімічний (колони, автоклави камери і т.д.). У реакторах крім хімічних йдуть і фізичні процеси, за допомогою яких створюються оптимальні умови здійснення хімічних реакцій (температура, тиск і ін.). Тому хімічні реактори часто мають спеціальні пристрої (мішалки, підігрівники, холодильники) чи з'єднуються з іншими апаратами (компресорами, теплообмінниками, сепараторами, котлами, утилізаторами і т.д.).

Машини й апарати, з'єднані між собою у визначеній послідовності, утворюють технологічну схему. При цьому апарати, розташовані до реактора,

призначені для підготовки і подачі вихідних продуктів (реагентів) у реактор; апарати, розташовані після реактора, призначені для виділення цільового продукту (очищення продукту).

У будь-якій технологічній схемі хімічного виробництва можна виділити три стадії:

- 1) стадія підготовки сировини;
- 2) стадія проведення хімічного процесу в самому реакторі;
- 3) стадія виділення кінцевого продукту і його очищення.

Основна стадія – друга, тому реактори мають велике значення в технологічних процесах хімічного виробництва.

У хімічній промисловості використовуються найрізноманітніші реактори, що відрізняються по тепловому режимі, конструктивному пристрою, фазовому стану реагентів і ін.

*Хімічні реактори класифікуються:*

1. *За способом організації процесу* (реактори періодичної і безперервної дії).

У реакторах *періодичної дії* вихідну сировину завантажують через визначені проміжки часу, після здійснення хімічної реакції продукти реакції вивантажують з реактора. У реакторах *періодичної дії* всі його стадії (завантаження, реакція, розвантаження) протікають в одному місці (в одному апараті), але в різний час.

Ефективність застосування реакторів *періодичної дії* характеризується ступенем або коефіцієнтом використання часу його роботи, що дорівнює відношенню тривалості етапу хімічних перетворень до тривалості всього циклу:

$$h = \frac{\tau_{\text{хім}}}{\tau_{\text{хім}} + \tau_{\text{всп}}} \quad (12.1)$$

де  $\tau_{\text{хім}}$  – час протікання хімічної реакції;

$\tau_{\text{всп}}$  – час допоміжних операцій (завантаження, вивантаження, розігрів, охолодження, очищення);

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії *періодично працюючого реактора* або коефіцієнт використання реактора.

Реактори *періодичної дії* застосовують у тих випадках, коли на одній установці роблять різні хімічні продукти, наприклад, при виробництві барвників, у фармацевтичній промисловості й ін. *Періодично діючі реактори* прагнуть замінити апаратами *безперервної дії*.

У реакторах *безперервної дії* надходження вихідних реагентів, сама хімічна реакція і вивантаження продуктів реакції виробляються одночасно і безупинно, але роз'єднані в просторі, тобто здійснюються в різних частинах одного апарата. Вони мають великі переваги в порівнянні з *періодичними*: немає перерв у випуску кінцевих продуктів реакції; кращі можливості автоматичного регулювання і повної механізації; стійкість режимів проведення процесів; велика компактність устаткування; більш повне використання тепла при відсутності перерв у роботі апарата. Реактори *безперервної дії* працюють

при постійному режимі. Для них замість часу тривалості реакції використовують такі характеристики, як час контакту або об'ємна швидкість. Тому що для цих апаратів не можна безпосередньо вимірити тривалість реакції, тобто час перебування реагуючих речовин в об'ємі реактора.

$$\tau = \frac{V_p}{Q_v} \quad (12.2)$$

де  $\tau$  – час контакту речовин у реакторі;  
 $V_p$  – об'єм реактора;  
 $Q_v$  – об'ємна витрата вихідних реагентів.

При одержанні тих самих речовин реактори періодичної дії в порівнянні з реакторами безперервної дії мають більшу небезпеку. У момент періодичного завантаження і вивантаження створюються сприятливі умови для виходу горючих речовин назовні, утворення небезпечних газо- і пароповітряних сумішей, а також для появи джерел запалювання (наприклад, при утворенні сульфідів заліза або термopolімерів на внутрішній поверхні реактора, що самозаймаються при контакті з киснем повітря

2. *За тепловим режимом* (ізотермічні, адіабатичні, реактори з програмованим тепловим режимом);

*Ізотермічні реактори* – реактори, у яких процес протікає при постійній температурі у всіх частинах реакційного об'єму. У реальних умовах досягти сталості температури майже неможливо, тому для більшості реакторів найбільш характерним є політропічний режим, тобто частковий відвід тепла за допомогою тепло- і холодоагентів.

*Адіабатичні реактори* – працюють без підведення і відведення тепла (усе тепло, що виділяється або поглинається в реакторі, акумулюється реакційною сумішшю). Ці реактори прості по конструкції, у них немає теплообмінних пристроїв, для адіабатичного режиму використовують теплоізоляцію.

У реакторах із програмованим тепловим режимом теплообмін здійснюється відповідно до заданої програми зміни температури по висоті реактора або у визначених частинах реакційного об'єму (у визначені проміжки часу).

3. *За фазовим станом вихідних реагентів* (гомогенні, гетерогенні).

Гомогенними називають реактори, якщо в ньому знаходиться одна фаза (наприклад, тільки рідка чи тільки газоподібна). Гетерогенним називають реактор, якщо в ньому реагуючі речовини знаходяться в різних агрегатних станах. У більшості випадків хімічні процеси протікають у присутності каталізаторів (пожежонебезпечних і вибухонебезпечних речовин) і ці реакції відносяться до гетерогенного типу реактора.

4. *За режимом руху реакційного середовища* (реактори витиснення, реактори перемішуванням (для безперервних процесів)).

Реактори витиснення характеризуються тим, що в них усі частки продукту, що заповнює реактор, рухаються в заданому напрямку, не перемішуючись з частками, що рухаються попереду і позаду і цілком витісняючи (подібно поршню) частки, що знаходяться попереду потоку. Час перебування всіх

часток реакційного середовища в апаратах ідеального витиснення однаково. Склад реакційної суміші змінюється поступово, по довжині (висоті) реактора внаслідок протікання хімічної реакції.

Однак у реакторах спостерігаються і відхилення від ідеального режиму, що у ряді випадків зв'язано з виникненням аварійних ситуацій. Наприклад, якщо екзотермічна реакція протікає в циліндричному реакторі витиснення, з якого тепло виділяється через стінку шляхом зовнішнього охолодження, середовище, що реагує буде більш нагріте поблизу центра, чим у стінки. Те ж спостерігається і з градієнтом швидкості. Швидкість рідини або газу біля стінки реактора завжди буде менше, ніж поблизу його центральної частини.

Отже, реакція протікає глибше, і в деяких випадках – до утворення небажаних побічних продуктів (спостерігається розкладання нафтопродуктів до утворення коксу на внутрішній стінці реактора змієвикового типу при термічному крекінгу), що є причиною прогару і виходу великої кількості вогненебезпечних рідин назовні і приводить, як правило, до великих аварій і пожеж.

Реактори з перемішуванням, як правило, складаються з декількох послідовно з'єднаних апаратів ємнісного типу (чи колонного), у яких здійснюється перемішування і безупинний рух реагуючих речовин при безупинній подачі вихідних речовин у перший апарат. Наявність системи перемішування в таких апаратах дає можливість одержати значну поверхню охолодження, а також при перемішуванні значно полегшується очищення внутрішніх поверхонь. Це має велике значення в тих випадках, коли спостерігається утворення відкладень, твердих речовин, що порушують нормальний теплообмін або самозаймаються при контакті з киснем повітря, що викликає необхідність періодичного очищення апаратів.

5. *За конструктивним виконанням теплообмінних пристроїв* реактори поділяються на камерні, ємнісні, колонні, трубочасті, змієвикові.

Система теплообміну може бути безперервною та поступовою. Безупинне відведення тепла (чи підведення) здійснюється через теплообмінну поверхню по усій висоті реактора. При поступовому відведенні (підведенні) тепла реактор поділяється на адіабатичні секції з проміжним охолодженням (підігрівом). Конструкція реакційного апарата визначається типом проведеного хімічного процесу і застосуванням каталізатором. Разом з тим однотипні по конструкції апарати можуть застосовуватися для різних процесів (наприклад, реактори з псевдозрідженим шаром каталізатора). Істотний вплив на конструкцію апарату роблять умови проведення процесу (у газовій чи рідкій фазах), тепловий ефект реакції, способи підтримки заданого робочого режиму в зоні реакції і ін. Звичайно реакційний апарат являє собою циліндричну судину однакового чи різного діаметра, закриту по кінцях днищами (кришками).

Так, наприклад, реактор каталітичного риформінгу має діаметр 4,5 м, висота шару каталізатора складає від одного до трьох діаметрів апарату, реактор каталітичного крекінгу з пилоподібним каталізатором має діаметр до 10 м і висоту до 30 м, реактор гідрокрекінгу являє собою вертикальний циліндричний апарат з діаметром 3 м і висотою 38 м, по висоті має 6 реакційних зон і

ін. У середині корпусу хімічних реакційних апаратів розміщені опорні грати для каталізатора, розподільні, направляючі і збірні пристрої, теплообмінні пристрої, сепаратори, перемішуючі пристрої та ін.

При проектуванні реакторів звичайно намагаються взяти за основу їхнє функціональне призначення, розділяючи реакційну зону і зону регенерації каталізатора, тому що в цьому випадку безперервність процесу можна забезпечити циркуляцією каталізатора між реактором і регенератором (наприклад, каталітичний крекінг). Коли циркуляцію каталізатора здійснити не вдається, приходиться в одному апараті здійснювати й основну реакцію, і регенерацію каталізатора або його заміну. Для забезпечення безперервності процесу необхідно мати кілька апаратів (наприклад, при платформінгу). При необхідності інтенсивного перемішування контактуючих середовищ реактор встановлюють пристрій, що перемішує спеціальної конструкції. Іноді реактор виконують пустотілим у виді змійовика (трубчаста піч для піролізу вуглеводнів), або циліндричної пустотілої судини (для коксування). Поверхня теплообміну може бути виконана у виді убудованих у реактор трубних поверхонь, чи у вигляді сорочки на зовнішній поверхні апарату.

## **12.2 Причини виникнення аварій під час проведення хімічних процесів**

Аналіз характеру причин аварій у хімічній і нафтохімічній промисловості показує, що більшість їх (95%) зв'язано з вибухами різних хімічних речовин: 54% в апаратурі, 46% у виробничих будівлях і на відкритих технологічних установках. Однак це співвідношення неоднаково в різних галузях і змінюється в залежності від характеру виробництва. Наприклад, в азотній промисловості кількість аварій, зв'язаних з викидами в атмосферу горючих газів і рідин через нещільності в апаратах, компресорах, насосах, комунікаціях, приблизно в 1,6 рази більше аварій, зв'язаних з вибухами усередині технологічних систем. У хлорній промисловості вибухів, загорянь і пожеж, зв'язаних з викидами горючих продуктів в атмосферу; у 2,5 рази більше, ніж вибухів усередині устаткування. У промисловості хімічних волокон найбільш характерними аваріями є пожежі і загоряння, викликані витокami горючих рідин і займанням волокон, причому пожежі і іноді охоплюють значні площі.

Аналіз причин аварій у хімічній промисловості показує, що основна їхня кількість (81%) пов'язана з проведенням хіміко-технологічних процесів, 13% – з підготовкою устаткування до ремонту, ремонтним роботам чи прийомом устаткування з ремонту і 6% – з інших причин.

Так, на одному з заводів, що виробляє хлорофос, відбувся вибух. У реакторі (хлораторі) утворилася значна кількість п'ятихлористого фосфору, тому що припинилася циркуляція реакційної маси (розчину фосфору в трихлористому фосфорі). При поновленні подачі реакційної маси, збагаченої фосфором, відбулося бурхливе розкладання п'ятихлористого фосфору, супроводжуване вибухом. Вибухом були зруйновані хлоратор і інше устаткування. У Франції

стався вибух на хімічному заводі по виробництву ракетного палива. В результаті вибуху утворилася воронка діаметром 50 м, зруйновано 2 цехи довжиною по 100 м кожний, постраждали 650 осіб. В результаті аварії отруєння від токсичного аміаку.

*Для хімічних процесів характерні вибухи в технологічному обладнанні.* Ймовірність вибуху в технологічних системах визначається насамперед, наявністю або утворенням в достатній кількості вибухонебезпечних або нестабільних сполук, що схильні до самоприскорюючих екзотермічних фізико-хімічних перетворень. До таких сполук відносяться ацетилен та його похідні, що здатні при порівняно невисоких температурах та тиску до термічного розкладання; активні ненасичені сполуки, що схильні до екзотермічної спонтанної полімерізації; пероксидні сполуки. Здатні спонтанно саморозігріватися при порівняно невисоких температурах; реакційні маси процесів нітрування вуглеводнів та інші нітросполуки, що одержуються як допоміжні продукти; нестабільні продукти осмолення, полімерізації, окислення, що накопичуються в апаратурі в значній кількості; розплави аміачної селітри та інших солей азотної кислоти, а також їх суміші з органічними речовинами. Наявність вказаних речовин в апаратах навіть при порівняно незначних підвищеннях регламентованих температур або в інших випадках (наприклад, при попаданні каталізуючих домішок свідчить про потенційну небезпеку вибуху.

Слід зазначити, що при дуже високих температурах та наявності каталізаторів, вибухонебезпечними можуть бути відносно стабільні речовини. Наприклад, етилен при помірних тисках та температурі є стабільною речовиною, але в умовах полімерізації під тиском в реакторах 280 МПа при 200-300 °С та вмісту кисню як каталізатора 0,005% етилен стає нестабільним. Підвищення, наприклад тиску лише на 10 МПа приводить до самоприскорюючого розкладання етилену та до вибуху. До екзотермічної спонтанної реакції розкладання етилену приводить передозування кисню-ініціатора лише на 10%, а також раптове зниження на 20% подачі холодоагента.

*Пожежовибухонебезпеку хімічних реакторів визначають наступні фактори:*

- 1) фізико-хімічні і пожежонебезпечні властивості реагентів і продуктів реакції;
- 2) властивості реакційного середовища і застосовуваних каталізаторів (ініціаторів);
- 3) параметри процесу (тиск, температура, об'ємна чи масова швидкість);
- 4) тип і конструктивні особливості реактора.

У період нормального режиму технологічного процесу горюче середовище в реакторі не утворюється, тому що у вихідних реагентах і продуктах реакції відсутній окислювач. Горюче середовище може утворюватися в періоди завантаження і вивантаження, при заміні відпрацьованого каталізатора оскільки ці операції зв'язані з зупинкою і розкриттям реактора.



Застосовані каталізатори в реакторах (метали, солі, кислоти, луги, металоорганічні сполуки, перекиси, гідроперекиси) можуть бути дуже вибухонебезпечні (наприклад, металоорганічні сполуки на повітрі реагують з вибухом з водою й іншими речовинами). Каталізатори, приготовлені на основі активованого вугілля пожежонебезпечні, тому що вугілля схильне до самозаймання. Процес приготування каталізаторів також пожежонебезпечний.

Пожежонебезпечним є також процес регенерації каталізатора після визначеного терміну їхньої експлуатації, що здійснюють пропусканням через реактор водню, водяної пари або гарячого повітря. При цьому, наприклад, кокс і смолисті відкладення випалюються (на поверхні каталізатора). Подача повітря в реактор створює умови для утворення горючого середовища усередині апарату.

Горюче середовище утворюється й у реакторах, у яких здійснюються процеси окислювання органічних речовин окислювачами (наприклад, хлорування), якщо порушується безпечне співвідношення між горючим компонентом і окислювачем при подачі їх у реактор.

При нормальному ході технологічного процесу вихід горючих парів, газів і рідин з реакторів виключений, тому що вони герметично закриті. Вихід горючих речовин у виробниче приміщення або на відкриту площадку можливий тільки у випадку появи якихось ушкоджень або виникнення аварій.

*Аварії з ушкодженням хімічних реакторів настають при:*

- 1) порушенні матеріального балансу ;
- 2) порушенні теплового балансу;
- 3) порушенні режиму тиску в апараті;
- 4) у результаті корозії й ерозії матеріалу реактора.

*Матеріальний баланс реактора*

Матеріальний баланс реактора – це склад і кількість вихідних речовин, що обертаються в реакторі і продукти реакції. Прорахунки допущені при складанні матеріального балансу впливають на пожежовибухонебезпеку реактора.

Матеріальний баланс безперервно діючих проточних реакторів устанавлюється для стаціонарного (сталого) режиму. У цьому випадку загальна маса речовин, що надійшла в апарат за визначений період, дорівнює масі речовин, що вийшли з апарата:

$$G_T + G_p + G_r = G_m^{\phi} + G_p^{\phi} + G_r^{\phi} \quad (12.3)$$

де  $G_T, G_p, G_r$  – маса речовин, що надходять у реактор;  
 $G'_m, G'_p, G'_r$  – маса вихідних речовин.

Для реактора періодичної дії рівняння матеріального балансу має вид:

$$G_n = G_3, \quad (12.4)$$

де  $G_n$  – кількість речовин, що надходять до реактора;  
 $G_3$  – кількість речовин, що залишаються (накопичених) у реакторі.

Нормальна робота реактора забезпечується в тому випадку, якщо його об'єм відповідає кількості речовин, що надходять у реактор, що виходять з нього, а також накопичуються в ньому. Якщо ця умова не дотримується, матеріальний баланс реактора порушується, що може привести до аварійних ситуацій, ушкодження апаратів, пожежам у цехах і на відкритих площадках.

Для реактора безперервної дії рівняння матеріального балансу має вид:

$$G_H = G_B + G_P, \quad (12.5)$$

де  $G_B$  – кількість речовини, що вийшли з реактора;

$G_P$  – кількість речовини, що вступили в реакцію.

Збільшення масової чи об'ємної швидкості подачі вихідних реагентів у реактор приводить до переповнення апарату, підвищенню в ньому тиску. Підвищитись тиск може і при підвищенні продуктивності живильних насосів (чи компресорів), при підвищенні гідравлічних опорів ліній у результаті утворення відкладень, забруднень, пробок.

Збільшення швидкості хімічної реакції приводить до підвищення тиску в реакторі. На швидкість хімічного процесу впливають багато факторів: природа і концентрація вихідних речовин, температура, тиск, каталізатор, різні домішки. На виробництві аварійні ситуації найбільше часто виникають при збільшенні швидкості реакції через порушення температурного режиму, при збільшенні концентрації реагуючих речовин, кількості каталізатора, при збільшенні тиску.

Відповідно до емпіричного правила Вант-Гоффа з підвищенням температури на 10 °С швидкість реакції зростає в два – чотири рази. Для більшості реакцій залежність швидкості реакції від температури виражається рівнянням Арреніуса:

$$r = k_{exp} \left[ -\frac{E}{RT} \right], \quad (12.6)$$

де  $r$  – швидкість реакції;

$k$  – константа швидкості реакції;

$E$  – енергія активації.

Для прискорення протікання хімічних реакцій використовують каталізатори.

Порушення режиму теплообміну (забруднення теплообмінних поверхонь, чи зменшення припинення подачі холодоагенту й ін.) викликає небезпечний розігрів реакційного середовища. При зростанні температури швидкість реакції може досягти дуже високих значень, при яких можливе спалахування або вибух реакційної суміші. Контроль за температурою здійснюється в зоні реакції і на стінках реактора. Так наприклад, реактор КР оснащений трьома термопарами, що мають багато зон (для контролю температури реакції) і 22 зовнішніми поверхневими термопарами.

### *Порушення теплового балансу*

Тепловий баланс реактора (температурний режим) складається на основі закону збереження енергії, що стосовно до реакторів можна сформулювати так: прихід тепла в реактор повинний бути дорівнювати витраті тепла в реакторі.

$$Q_H + Q_P + Q_T = Q_B + Q_{\text{вит}}, \quad (12.7)$$

де  $Q_H$  – кількість тепла, що надходить у реактор з вихідними продуктами;  
 $Q_P$  – тепловий ефект хімічної реакції;  
 $Q_T$  – кількість тепла, необхідне (+) чи відводиться з реакційної зони (–);  
 $Q_B$  – кількість тепла що виходить;  
 $Q_{\text{вит}}$  – витрата тепла.

Порушення температурного режиму реактора – найбільш часта причина аварій і пожеж на промислових підприємствах.

Ізотермічний режим найбільш безпечний для промислових реакторів. І чим більше відхилення від ізотермічного режиму у бік збільшення температури в порівнянні з оптимальною, тим сприятливі умови для виникнення аварійних ситуацій.

Відхилення від ізотермічного режиму можуть бути викликані різними причинами: неправильним теплотехнічним розрахунком теплообмінних пристроїв реактора; порушенням режиму експлуатації реактора і систем теплообміну (перевантаження реактора, проведення хімічних процесів із завищеною кількістю каталізатора, несвоєчасне очищення теплообмінних поверхонь від відкладень) і ін.

*Порушення режиму тиску.* Для кожного хімічного процесу встановлюється не тільки оптимальна температура, але й оптимальний режим тиску (так наприклад, процес гідрокрекінгу в присутності водню ведуть при температурі 450 °С та тиску 15 МПа).

Головне питання пожежовибухонебезпеки при роботі реакторів під підвищеним тиском – забезпечення надійної механічної тривкості апаратів і герметизації їхніх вузлів. Для захисту реакторів від підвищених тисків їх обладнують запобіжними клапанами з відводом газів на свічу або смолоскип; якщо в реакторі можливий вибух, його захищають вибуховим клапаном.

Хімічні реактори повинні мати надійну систему автоматичного регулювання температури, яка б забезпечувала збереження теплового балансу.

*Корозія й ерозія реакторів.* Матеріали, з яких роблять реактори піддаються корозії й ерозії. Це знижує їхню механічну стійкість. Реактори піддаються і ерозійному зносу, особливо коли застосовуються процеси з твердими каталізаторами, що рухаються. Аналіз пожеж (вибухів) за джерелами запалювання на хімічних підприємствах показує, що спалахування хімічних продуктів складає 25 % від загального числа пожеж.

*Джерела запалювання при експлуатації хімічних реакторів:*

1. спалахування хімічних продуктів;
2. іскріння електроустаткування і розряди статичної електрики;

3. відкритий вогонь при автогенних і зварювальних роботах;
4. іскріння від ударів твердими предметами;
5. перегрів реакційної маси і перевищення тиску газів у закритій апаратурі від некерованих процесів і ін.

Так, на одному з лакофарбових заводів зливали основну хімічну речовину з реактора в змішувач при 180 °С. Зливальний патрубок в апараті був відсутній, інертний газ у змішувач не подавали. При зливі відбулося скипання толуолу в змішувачі, що привело до створення вибухонебезпечної концентрації толуолу. У момент розриву вільно падаючого струменя відбувся розряд статичної електрики, що привів до вибуху в апаратурі.

**Висновки.** Технологічні процеси хімічного виробництва мають складне апаратурне оформлення, від надійності і безпеки якого залежить безпека усього виробництва.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які процеси відносяться до хімічних?
2. Назвіть технологічне обладнання, яке використовується під час проведення хімічних процесів.
3. Як класифікуються хімічні реактори?
4. При яких умовах виникають аварії з ушкодженням хімічних реакторів?
5. Наведіть основні небезпеки, що утворюються під час роботи хімічного реактора, де обертаються небезпечні рідини.

### **Рекомендована література**

1. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Харків: АЦЗУ МНС України, 2014. 374 с.
2. Кошель В.І., Сав'юк Г.П., Дзундза Б.С. Безпека життєдіяльності: Навчально-методичний посібник. Івано-Франківськ: НАІР, 2015. 160 с.
3. Роянов О.М. Пожежна безпека виробництв: курс лекцій. Для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» спеціалізації «Охорона праці» денної та заочної форми навчання. Освітній ступінь «бакалавр». Х.: НУЦЗУ, 2016. 420 с.

## ЛЕКЦІЯ 13

### ПЛАН ЛОКАЛІЗАЦІЇ І ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ ТА ЇХ НАСЛІДКІВ

#### ПЛАН

13.1 Загальні положення щодо розроблення планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків.

13.2 Основні вимоги щодо розроблення, затвердження та впровадження планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків.

13.3 Складові планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків, їх загальна характеристика.

#### **13.1 Загальні положення щодо розроблення планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків**

Система захисту населення і території від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру як складова системи забезпечення національної безпеки становить собою систему загальнодержавних заходів, які реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами рад, органами управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту, підпорядкованими їм силами та засобами, підприємствами, установами, організаціями незалежно від форм власності, добровільними формуваннями, що забезпечують виконання організаційних, інженерно-технічних, протипожежних, санітарно-гігієнічних, протиепідемічних та інших заходів у сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

До надзвичайних ситуацій техногенного характеру відносяться ситуації, що пов'язані з аваріями на атомних електростанціях та інших підприємствах з наявністю радіоактивних речовин, на хімічно-небезпечних, пожежовибухонебезпечних об'єктах. Значну техногенну небезпеку представляють трубопровідний транспорт, гідротехнічні споруди, транспорт та інші об'єкти життєзабезпечення.

Сьогодні велику небезпеку представляють об'єкти підвищеної небезпеки, які з кожним роком стають все вразливішими до дії небезпечних природних факторів, що збільшує небезпеку виникнення на них техногенних аварій і навіть катастроф. Це обумовлюється перш за все зношеністю виробничих фондів, застарілими технологіями, відсутністю коштів на підтримання техногенної безпеки. Аналіз надзвичайних ситуацій техногенного характеру показує, що сьогодні ризик виникнення цих ситуацій значною мірою визначається станом об'єктів підвищеної небезпеки. І одним із напрямків в плані реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру є розробка на потенційно небезпечних об'єктах та об'єктах підвищеної небезпеки планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків (ПЛЛА).

У зв'язку з цим в даній лекції розглянемо загальні положення та вимоги до розроблення і затвердження ПЛЛА, які є невід'ємною частиною системи реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру. Важливим елементом для розроблення ПЛЛА є вивчення досвіду з його роз-

роблення на подібних об'єктах підвищеної небезпеки, крім гірничих об'єктів (далі – ОПН) та оцінка можливостей ОПН з розроблення ПЛЛА самостійно із залученням своїх спеціалістів або спеціалістів сторонніх організацій.

Згідно зі статтею 11 Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» однією з основних вимог для об'єктів підвищеної небезпеки є розробка та впровадження на цих об'єктах планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків. Метою плану локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків є планування дій (взаємодії) персоналу підприємства, спецпідрозділів, населення, центральних і місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування щодо локалізації і ліквідації аварій та пом'якшення їх наслідків.

Порядок розробки ПЛЛА, вимоги до їх складу, змісту та форми, процедуру затвердження та перегляду прописані у Наказі ДСНС №25 від 17.05.2022 Методичні рекомендації щодо розроблення планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків.

### *Терміни та визначення*

*Аварія* – небезпечна подія техногенного характеру, що спричинила ураження, травмування населення або створює на окремі території чи території суб'єкта господарювання загрозу життю або здоров'ю населення та призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи спричиняє наднормативні, аварійні викиди забруднюючих речовин та інший шкідливий вплив на навколишнє природне середовище;

*Відновлювальні роботи* – комплекс робіт, пов'язаних з відновленням будівель, споруд, підприємств, установ та організацій незалежно від форми власності, які були зруйновані або пошкоджені внаслідок надзвичайної ситуації, та відповідних територій;

*Відповідальні особи* – посадові особи (працівники) ОПН, на яких відповідно до організаційно-розпорядчих актів підприємства покладено функції з організації забезпечення виконання заходів цивільного захисту;

*Виробництво* – цех, відділення, виробнича дільниця, окрема установка або будівля з наявністю у них джерел небезпеки;

*Блок технологічний* – апарат (устаткування) або група з мінімальною кількістю апаратів (устаткування), які в заданий час можна відключити (ізолювати) від технологічної системи без небезпечних змін режиму, що можуть призвести до розвитку аварії в суміжній апаратурі.

*Відділення* – структурний підрозділ підприємства чи цеху, що містить декілька виробничих дільниць, займає відокремлену територію та здійснює частку виробничого процесу з перероблення предмета праці.

*Дільниця виробнича* – структурний підрозділ підприємства чи цех, що об'єднує групу робочих місць, організованих за предметним, технологічним чи предметно-технологічним принципом спеціалізації.

*Критичні значення параметрів* – граничні значення одного або кількох взаємопов'язаних параметрів (щодо складу матеріального середовища, тиску,

температури, швидкості руху, часу перебування в зоні із заданим режимом, співвідношення компонентів, що змішуються, роз'єднування суміші тощо), при яких можливе виникнення вибуху в технологічній системі або розгерметизація технологічної апаратури та викиди горючої або токсичної речовини в атмосферу.

*Ліквідація наслідків надзвичайної ситуації* – проведення комплексу заходів, що включає аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи, які здійснюються у разі виникнення надзвичайної ситуації і спрямовані на припинення дії небезпечних факторів, рятування життя та збереження здоров'я людей, а також на локалізацію зони надзвичайної ситуації;

*Небезпечні режими роботи устаткування* – режими, які характеризуються такими відхиленнями технологічних параметрів від регламентних значень, при яких може виникнути аварійна ситуація та/або статися зруйнування обладнання, будинків, споруд.

*Підприємство потенційно небезпечне* – промислове підприємство, що використовує в своїй діяльності або має на своїй території об'єкти підвищеної небезпеки.

*Підрозділ структурний* – ланка організації (підприємства), яка включає колектив виконавців та/або робочих, яка має відокремлені, чітко визначені функції в процесі керівництва або виробничому процесі, які відрізняються від функцій інших ланок, і в силу цього входить як організаційно відокремлена від інших підрозділів частка організації (підприємства) в його структуру або в структуру підрозділів організації (підприємства). Наприклад, виробництво, цех, відділення, виробничі ділянки.

Складовою частиною виробництва можуть бути цехи, відділення, виробничі дільниці. Складовою частиною цеху можуть бути відділення і виробничі дільниці. Складовою частиною відділення є виробничі дільниці.

*Процес технологічний* – сукупність фізико-хімічних перетворень речовин і змін значень параметрів матеріального середовища, які проводяться з певною метою в апараті (системі взаємопов'язаних апаратів, агрегаті, машині тощо).

*Уражальні чинники аварії* – фактори, що виникають під час аварії, які здатні у разі досягнення певних значень завдати збитків здоров'ю людей, довіллію матеріальним цінностям (надлишковий тиск на фронті ударної (вибухової) хвилі, теплове навантаження від полум'я, концентрація небезпечних речовин у атмосфері, воді, ґрунті тощо).

## **13.2 Основні вимоги щодо розроблення, затвердження та впровадження планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків**

Робота з розроблення ПЛЛА розпочинається з визначення виконавців, загального обсягу робіт щодо розробки ПЛЛА, розрахунку часу, розподілу обов'язків між виконавцями, обсягів фінансових та матеріальних засобів, необхідних для виконання роботи, уточнення їх джерел надходження.

Усі питання щодо організації роботи з розроблення ПЛЛА визначаються відповідним організаційно-розпорядчим документом підприємства (наказом, розпорядженням), у якому визначаються відповідальна особа за розроблення ПЛЛА, безпосередній виконавець та співвиконавці (посадові особи), а також термін розроблення ПЛЛА з поетапним розподілом робіт.

За необхідності між підприємством, виконавцями та співвиконавцями укладаються цивільно-правові або інші угоди (договори) та необхідні дозвільні документи, опрацьовуються питання організації взаємодії з територіальними органами управління, іншими установами і організаціями, спільно з якими планується виконання заходів, або від яких передбачається залучення сил і засобів.

*Під час розроблення ПЛЛА виконавці:*

- ознайомлюються з технологічними процесами, що відбуваються (застосовуються) на всіх етапах виробничої діяльності ОПН;

- вивчають або складають (у разі їх відсутності): загальні технологічні схеми; план-схему території ОПН та схему розташування виробництв у межах його території; основні вимоги щодо можливості безаварійної зупинки технологічного обладнання або виробництв для упередження можливої аварії або недопущення її розвитку у разі виникнення аварійної ситуації на ОПН, передбачені технологічними регламентами для відповідного устаткування;

*вивчають перелік та наявність:*

- контрольно-вимірювальних приладів (далі – КВП), систем передачі інформації про стан безпеки обладнання або установки від КВП до диспетчерів або автоматизованих систем раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення про їх виникнення;

- систем автоматичного пожежного захисту та блискавкозахисту;

- об'єктової (локальної або спеціальної) системи оповіщення;

- наявних на ОПН сил та засобів для попередження аварійних ситуацій, локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків або додаткових сил і засобів, що залучатимуться відповідно до угоди про аварійно-рятувальне обслуговування ОПН;

- аварійно-рятувального підрозділу, пожежної та спеціальної техніки;  
*знайомляться з:*

- результатами ідентифікації ОГТН та документами, що розробляються на ОПН відповідно до Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки»;

- розподілом обов'язків та повноважень посадових осіб підприємства, відповідальних за безпеку на ньому;

- забезпеченням підприємства первинними засобами пожежогасіння;

- створенням резерву паливно-нафтно-мастильних матеріалів, піноутворювача, підтримання запасів води в штучних пожежних водоймах;

- наявністю захисних споруд цивільного захисту та порядком укриття працюючих в них працівників;

- місцями безпечного можливого виводу персоналу у разі виникнення аварії (надзвичайної ситуації);



- організацією взаємодії з аварійно-рятувальними службами та суміжними підприємствами, місцевими підрозділами ДСНС;
- можливістю розгортання на безпечній відстані пунктів надання першої медичної допомоги і евакуації потерпілих та травмованих людей;
- статистичними даними про аварії на цьому та подібних ОПН і причинами їх виникнення;
- іншими технологічними документами, даними, підручниками та заходами, необхідними для розроблення ПЛЛА.

На підставі технічних та технологічних документів ОПН визначається стан небезпеки на ньому, наявність небезпечних установок та інших джерел небезпеки.

ПЛЛА є організаційно-правовим документом, який погоджується всіма провідними спеціалістами ОПН, підписується особою, відповідальною за розроблення ПЛЛА, іншими учасниками розроблення ПЛЛА та затверджується керівником ОПН шляхом видання відповідного розпорядчого документа по підприємству.

ПЛЛА має визначати організаційні і практичні заходи та порядок дій відповідальних осіб, персоналу ОПН, інших осіб, що знаходяться постійно або тимчасово на території ОПН, підрозділів з питань цивільного захисту тощо при загрози та/або виникненні аварій на ньому.

ПЛЛА має містити всі можливі ситуації, які можуть виникнути на ОПН з урахуванням усіх станів діяльності ОПН: пуск, робота, зупинка і ремонт. Оперативні частини ПЛЛА у відповідних розділах мають передбачати можливі дії спеціалістів сторонніх організацій з пуску, налагодження або ремонту обладнання тощо.

З метою визначення можливих масштабів аварії на різних етапах її розвитку, обсягів робіт з ліквідації аварії та узгодженості дій аварійно-рятувальних служб, що залучаються для локалізації і ліквідації аварії, визначаються рівні аварії «А», «Б» і «В».

Рівні аварії «А» і «Б», відповідно до Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями (далі – Порядок класифікації НС), можуть відповідати «об'єктовому рівню надзвичайної ситуації» залежно від обсягів заподіяних наслідків, технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для їх ліквідації.

Рівень аварії «В» відповідно до Порядку класифікації НС за певних умов може класифікуватися як надзвичайна ситуація «місцевого», «регіонального» або «державного» рівня.

*Рівень «А»* – характеризується розвитком аварії без виходу за межі виробництва (цеху, дільниці, відділення, яке є структурним підрозділом підприємства).

*Рівень «Б»* – характеризується розвитком аварії, наслідки якої за прогнозом можуть поширитись або фактично поширюються на інші виробництва, розташовані у межах території ОПН.

*Рівень «В»* – характеризується швидким поширенням наслідків викиду, виливу, вибуху, пожежі тощо у реальному часі або за прогнозом за межі тери-

торії ОПН із завданням шкоди іншим підприємствам, населенню або виникненням «ефекту доміно».

У разі визначення за прогнозом або досягнення аварією рівня “В” ліквідація такої аварії здійснюється відповідно до планів реагування, що розробляються у масштабі області, міста, району, району у місті, територіально-об’єднаної громади для реагування на аварії, що можуть статися на відповідному ОПН (далі – зовнішні плани), з урахуванням територіального поширення наслідків надзвичайної ситуації.

Дані, отримані під час розробки ПЛЛА, та інформація, необхідна для розробки зовнішнього плану, надається оператором місцевим органам виконавчої влади, органам місцевого самоврядування, об’єднаним територіальним громадам та територіальним органам ДСНС.

У разі можливості виникнення надзвичайної ситуації, що може вийти за межі території України, необхідно проінформувати органи управління територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту (далі – ЄДСЦЗ) з наданням відповідної інформації

Керівникам (начальникам) виробництв (цехів, відділень, виробничих дільниць), оперативного-координаційних центрів територіальних органів ДСНС, ланок територіальних підсистем ЄДСЦЗ, територіально-об’єднаних громад, аварійно-рятувальних служб тощо, надаються витяги з ПЛЛА у обсязі, який є достатнім для якісного виконання ними відповідних дій.

*З метою забезпечення впровадження ПЛЛА на ОПН відповідальним особам у повсякденній діяльності необхідно:*

- розробляти спеціальні заходи (з визначенням пріоритету щодо їх реалізації), які передбачають дообладнання засобами контролю, автоматичного регулювання, обладнання попередження вибухів та захисту від впливу вибухів, швидкодіючими відсікачами, системами безпечної аварійної зупинки об’єкта, оповіщення, захисту та рятування людей, створення запасів пожежогасіння, вдосконалення систем уловлювання та дегазації шкідливих викидів, влаштування систем локалізації, що перешкоджають розповсюдженню неорганізованих викидів на території ОПН та за його межами, тощо, якщо під час розробки ПЛЛА виявляється недостатня готовність ОПН до протиаварійного захисту;

- передбачити, у разі необхідності, агрегати резервних систем життєзабезпечення, сигналізації і протиаварійного захисту (мають бути створені резервні мережі зв’язку, призначені дублери для провідних фахівців, має бути визначений альтернативний центр керівництва на випадок порушення функціонування основного центру). Необхідно також продублювати життєво важливі вузли, що забезпечують безаварійну зупинку ОПН;

- забезпечувати оперативність виявлення, ефективність локалізації і ліквідації аварії за рахунок застосування технічних засобів з належною надійністю та швидкодією;

- вживати заходи з підтримання готовності органів управління та сил цивільного захисту до реагування;

– забезпечувати необхідну оперативність дій персоналу ОПН з урахуванням динаміки розвитку можливих аварій шляхом забезпечення розподілу обов'язків між виробничим персоналом, використання надійних засобів оповіщення та зв'язку і раціонального розташування пультів (пристроїв) керівництва протиаварійними системами;

– оперативно повідомляти органи, що залучаються до локалізації і ліквідації аварії, про всі випадки, які пов'язані з небезпечними речовинами і можуть завдати шкоди здоров'ю людини і навколишньому середовищу. Повідомлення має здійснювати диспетчер ОПН або інша посадова особа, яка дізналася про аварію. Таке повідомлення має здійснюватися якомога оперативніше і містити інформацію про характер випадку, небезпечні речовини, потенційну складність аварії, можливість виходу уражальних чинників аварії за межами території ОПН, особу, яка здійснила повідомлення;

– забезпечити наявність постійно поновлювального запасу відповідних медичних препаратів, які необхідні при аварії, у тому числі сучасних антидотів, інших фармацевтичних препаратів, кисню тощо, засобів захисту для персоналу медичних бригад невідкладної допомоги;

– здійснювати заходи щодо створення резервів матеріальних і фінансових ресурсів для запобігання та ліквідації аварій, умов та порядку їх використання;

– забезпечувати навчання персоналу та позаштатних аварійних формувань діям в умовах аварії;

– надавати органам місцевого самоврядування результати виконаного аналізу безпеки ОПН, а також інші матеріали, які потрібні для вивчення ПЛЛА та розроблення ними зовнішніх планів;

– забезпечувати співпрацю з центральними та місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування при розробці ПЛЛА та зовнішніх планів;

– повідомляти населення щодо його можливих дій у разі спрацювання систем оповіщення про аварію (надзвичайну ситуацію), які використовуються під час аварії;

– надавати засобам масової інформації дані про всі безпеки, які були встановлені в процесі аналізу, у тому числі після їх оновлення.

Необхідно підтримувати постійну готовність обладнання й засобів інформування (оповіщення), які можуть використовуватися для отримання/передачі необхідних даних у випадку аварії, і своєчасно їх перевіряти.

Забезпечення дій сил цивільного захисту щодо реагування на НС має передбачати наступне забезпечення: матеріально-технічне, медичне, протипожежне, транспортне, хімічне, та залежно від специфіки виробництва ОПН визначаються інші види забезпечення дій сил цивільного захисту.

### **13.3 Складові планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків, їх загальна характеристика**

*Структура ПЛЛА має враховувати особливості структури виробництва, розташованих у межах території ОПН, і складатися:*

- з однієї аналітичної частини, загальної для всього ОПН;
- необхідної кількості оперативних частин для кожного рівня аварії з урахуванням кількості виробництв, у тому числі тих, що за територіальною ознакою мають різні фактичні адреси місцезнаходження;
- відповідних додатків.

Вимоги до оформлення даних документів надаються у Наказі ДСНС №25 від 17.05.2022 «Методичні рекомендації щодо розроблення планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків» [1].

Аналітична частина призначена для оцінювання аналізу небезпек на ОПН, визначення поетапного сценарію виникнення аварії на ньому і має містити результати такого оцінювання, розрахунки зон можливого поширення наслідків аварії, прогнозовану кількість людей, що може потрапити в зону ураження, їх можливі втрати, розрахунки сил та засобів, призначених для локалізації і ліквідації аварії, висновки щодо можливих рівнів аварій та необхідні дії сил цивільного захисту у разі виникнення аварії на ОПН.

Оперативні частини регламентують порядок оповіщення, дій та взаємодії персоналу ОПН, аварійно-рятувальних служб та інших сил цивільного захисту, що залучаються для локалізації і ліквідації аварії на ОПН, інші практичні заходи, що вживаються на ОПН у разі виникнення аварії.

У разі наявності на території ОПН кількох окремих виробництв з наявністю на них джерел небезпеки необхідно розробляти окремі оперативні частини для кожного виробництва. Дозволяється згрупувати оперативні частини в окрему книгу, але окремо для кожного виробництва.

У цьому разі на обкладинці книги відображається напис «Оперативні частини» (назва ОПН) для аварій рівнів (визначається відповідний рівень «А», «Б» або «В»); назва виробництва; рік розроблення.

У разі можливості переходу аварії з рівня «А» на рівень «В», обов'язково вказуються такі розпізнавальні ознаки:

- оцінку можливості виходу наслідків аварій за межі виробництва (визначення критеріїв переходу аварії на вищі рівні);
- оцінку аналізу безпеки виробництва (визначення рівнів аварії на виробництві).

*Під час розробки оперативної частини слід вказати всіх учасників протиаварійних дій та ступінь їх участі. До складу учасників протиаварійних дій необхідно включати:*

- керівництво підприємства;
- місцеві органи виконавчої влади (органи місцевого самоврядування);
- територіальні органи ДСНС та формування оперативно-рятувальної служби цивільного захисту;

– територіальні формування цивільного захисту, спеціалізовані служби цивільного захисту, аварійно-рятувальні підрозділи (частини), аварійно-рятувальні служби тощо;

- представників Державної служби України з питань праці;
- органи масової інформації і зв'язку;
- органи охорони здоров'я і навколишнього середовища;
- комунальні служби району (міста);
- інші територіальні служби та підрозділи.

Для аварії на рівні «В» розробляється єдина оперативна частина, основним призначенням якої є визначення порядку взаємодії керівництва та відповідних служб і підрозділів підприємства з органами управління цивільного захисту місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, територіальними органами ДСНС, Держпраці, МВС (у тому числі Національної поліції), аварійно-рятувальними службами, що залучаються для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації за межами підприємства, тощо.

Оперативна частина для рівня «В» доповнюється:

– ситуаційним планом території регіону за межами ОПН, що може опинитися у зонах надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення на ОПН (Дод. 4 [1]);

– обов'язками керівника робіт від підприємства, виконавців та інших посадових осіб підприємства щодо локалізації аварії (надзвичайної ситуації) на території підприємства;

– переліком заходів щодо організації взаємодії з аварійно-рятувальною службою, що залучається або може залучатися для локалізації і ліквідації аварії (надзвичайної ситуації) на ОПН.

На принциповій технологічній схемі кожного виробництва необхідно відобразити технологічні параметри й основні технічні характеристики технологічного обладнання, прямі та зворотні технологічні потоки (із зазначенням їх умовного перетину, продуктивності й параметрів), регульовальну й запірну арматуру (умовне позначення, тип виконання, швидкість дії), прилади, засоби й системи контролю і регулювання, системи протиаварійного захисту (із зазначенням їх основних характеристик), які мають безпосереднє відношення до локалізації (ліквідації) аварії.

Для здійснення заходів з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації за межами території ОПН застосовуються зовнішні плани реагування, що розробляються місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування з метою забезпечення своєчасного реагування на надзвичайні ситуації, що можуть виникнути на ОПН, відповідно до ст.130 Кодексу цивільного захисту України та ст.11 Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки».

*Основні елементи щодо проведення аналізу небезпеки ОПН*

Аналіз небезпеки виникнення аварій на ОПН здійснюється по блоках на основі фізико-хімічних властивостей речовин, що використовуються на об'єкті, апаратного оформлення, режимів роботи обладнання, а також з урахуванням аварій, що виникали на даному та аналогічних об'єктах.

Вихідні дані для розробки ПЛЛА включають характеристику ОПН, навколишнього середовища (географічне положення, метеорологічні, геологічні і гідрографічні умови тощо) і складаються з:

- опису ОПН і навколишнього середовища;
- опису та характеристик установок та інших видів діяльності підприємства, які можуть становити загрозу виникнення аварії;
- короткого опису сусідніх підприємств, а також об'єктів, районів і об'єктів будівництва, які можуть бути джерелом небезпеки або збільшувати ризик виникнення аварії та «ефектів доміно»;
- переліку та опису основних стадій технологічного процесу;
- переліку технологічних блоків, що входять до складу ОПН;
- переліку захисних споруд цивільного захисту, що розташовані на об'єкті та у радіусі 500 метрів від нього, де передбачено або можливе укриття персоналу об'єкта.

Характеристика небезпечних речовин має включати:

- перелік небезпечних речовин: ідентифікація, хімічна назва, максимальна кількість речовини, яка може бути в наявності;
- фізико-хімічні параметри (молекулярна маса, запах, колір, густина за нормальних умов, температура кипіння) та токсикологічні характеристики з позначенням небезпек для здоров'я людини і навколишнього середовища як миттєвої, так і уповільненої дії;
- фізична та хімічна поведінка за нормальних умов використання або у передбачуваних аварійних умовах.

За наявності токсичної небезпеки вказується клас небезпеки речовини та гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони, характер впливу на організм людини, індивідуальні засоби захисту, заходи домедичної допомоги постраждалим, а також методи переведення (нейтралізації) речовини у безпечний стан.

Опис технологічного процесу та апаратурного оформлення складається з:

- короткого опису технологічного процесу з наведенням назви та агрегатного стану речовин, що беруть участь у процесі, та основних технологічних параметрів його проведення або протікання/перебігу;
- характеристик основного технологічного обладнання, в якому обертаються небезпечні речовини, та який входить до складу блоку.

Аналіз небезпеки технологічних блоків та ризиків виникнення аварій включає:

1) огляд аварій та інцидентів, які виникали на цьому або аналогічних ОПН, пов'язаних з наявними небезпечними речовинами та використовуваними технологічними процесами, аналіз причин виникнення та перелік заходів попередження таких аварій;

2) опис можливих сценаріїв аварії та ймовірності їх виникнення, або умов, за яких вони виникають, включаючи характеристику подій, що можуть брати участь у запуску кожного з цих сценаріїв. Вказати причини, які є внутрішніми або зовнішніми по відношенню до блоку:

- експлуатаційні причини;
- зовнішні причини, зокрема, пов'язані з «ефектами доміно», об'єкти, райони та об'єкти будівництва, які можуть бути джерелом або збільшувати ризик виникнення або наслідки аварії;

- природні причини (землетруси, повені зсуви тощо);

3) оцінка ступеня і тяжкості наслідків визначених аварій, оцінка кількості небезпечних речовин, що використовуються у виробництві та задіяні в аваріях, та створення уражальних чинників; результати розрахунку можливих зон дії чинників; план-схему території ОПН, на якому вказуються розміри можливих зон дії уражальних чинників.

Результати розрахунків безпеки уражальних чинників, що виникають внаслідок визначених аварій, наводяться у вигляді таблиць (Дод. 10 [1]);

4) аналіз стану технічних засобів та обладнання, яке використовується для забезпечення безпеки об'єкта містить:

- інформацію щодо існуючих заходів для запобігання виникненню аварійних ситуацій і аварій;

- аналіз достатності протиаварійних дій під час експлуатації об'єкта.

За результатами аналізу небезпек технологічного блоку складається картка безпеки устаткування, у якій наводиться назва та призначення устаткування, тип обладнання, перелік можливих аварій, сценарій їх виникнення і розвитку, розпізнавальні ознаки аварії, а також засоби захисту, які передбачені проектом та можуть бути використані для мінімізації наслідків розглянутого сценарію аварії.

**Висновки.** Таким чином, розробка та впровадження на об'єктах підвищеної безпеки та потенційно небезпечних об'єктах планів локалізації та ліквідації аварій і аварійних ситуацій дозволяє своєчасно організувати дії та взаємодії персоналу підприємства, спецпідрозділів, населення, центральних і місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування щодо локалізації і ліквідації аварій та пом'якшення їх наслідків.

### **Питання для самоконтролю**

1. Основна мета розробки ПЛЛА.
2. Які аварії відносяться до рівня «А», «Б», «В»?
3. Основні вимоги до розробки та затвердження ПЛЛА.
4. Надайте основні положення щодо нормативних вимог до розробки ПЛЛА.
5. Дати характеристику основних частин ПЛЛА.
6. Надайте основні елементи щодо проведення аналізу безпеки ОПН.

### **Рекомендована література**

1. Наказі ДСНС №25 від 17.05.2022 «Методичні рекомендації щодо розроблення планів локалізації і ліквідації аварій та їх наслідків».
2. Закон України «Про об'єкти підвищеної безпеки» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 15).

## ЛЕКЦІЯ 14

### ОЦІНКА БЕЗПЕКИ НАФТОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

#### ПЛАН

14.1. Основи технології нафтопереробки

14.2 Загальна оцінка безпеки нафтопереробних заводів

#### 14.1 Основи технології нафтопереробки

У відповідності до Постанови Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2022р. № 1030 «Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки» нафтопереробні заводи (НПЗ) відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки [1]. Підприємства нафтогазової галузі являють собою щільне зосередження високо енергонавантажених об'єктів на обмеженій території. У той же час на даних територіях розташовуються будівлі, в яких розміщується персонал і коштовне обладнання для керування технологічними процесами підприємства. У багатьох випадках дані будови були спроектовані й споруджені у 60-70 р-р ХХ ст, і в даний час забезпечують необхідний рівень безпеки для персоналу та обладнання.

Аналіз статистичних даних показує, що майже 90% пожеж і загорянь відбувається на технологічних установках і резервуарах, заповнених нафтопродуктами і бензином. При цьому під час зберігання нафти й нафтопродуктів, навіть з незначним вмістом сірки, часто відбувається самоспалахування пірофорних відкладень, які утворюються на внутрішніх поверхнях резервуарів та обладнання, що призводить до вибухів і пожеж. Постійно зростаючий вміст сірчаних сполук та збільшений вміст води у складі видобутої нафти посилює агресивність середовищ, в яких працює технологічне обладнання нафтобаз та нафтопроводів. Отже, однією із актуальніших проблем є корозійне пошкодження обладнання для зберігання нафтопродуктів та пов'язані з ним наслідки утворення пожежонебезпечних пірофорних сполук.

Забезпечення безпеки таких промислових об'єктів є складною задачею, тому що насамперед залежить не тільки від правильної оцінки пожежовибухонебезпеки процесів, але і знання характерних небезпек технологічних процесів, їхнього поглибленого аналізу, виділення найбільш небезпечних об'єктів, виходячи з особливостей розвитку галузі в цілому. Найбільш пожежовибухонебезпечними об'єктами є виробництва з обертанням горючих речовин і матеріалів, виробництва, пов'язані з веденням процесів при критичних параметрах (тиск, температура й ін.), зі складним апаратним оформленням. До таких об'єктів слід віднести газо- і нафтопроводи, об'єкти хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної промисловості, склади нафти і нафтопродуктів. Більшість існуючих виробництв базуються на застарілих технологіях з використанням зношеного технологічного устаткування, коли на виробничих площах пожежовибухонебезпечних об'єктів (підприємств) зосереджені величезні маси вибухонебезпечних і токсичних продуктів, коли недостатня надійність енергозабезпечення технологічними процесами, коли відсутня нормативна база, що забезпечує безпеку



виробництв регіонів України, коли відсутня інформація про аварії і пожежі, неполадки, що відбуваються на об'єктах. На сьогоднішній день в Україні експлуатується 11 газопроводів загальною довжиною 35 тис. км, 3 нафтопроводи довжиною 4,5 тис. км, де близько 100 компресорних станцій, 7 нафтопереробних заводів (НПЗ) та 5 газопереробних заводів.

У 2014 році працювало три з семи підприємств галузі – ПАТ «Укртатнафта» (Кременчук), Одеський НПЗ (належить групі СЄПЕК) і Шебелинський газопереробний завод (ГПЗ, ПАТ «Укргазвидобування»).

У багатьох країнах світу нафтопереробна промисловість вирішує проблеми, пов'язані з введенням більш строгих специфікацій на моторні палива та зі зміною попиту на них. Особливо швидко в різних країнах змінюються специфікації на бензин і дизельне паливо, змушуючи нафтопереробників інвестувати кошти в будівництво нових або в реконструкцію діючих установок. З 2010 року в Європі діють норми Євро-5, що встановлюють вимоги по цетановому числу «не менше 51», по сірці «не більше 0,001 масових %», щільності «не більше 845 кг/м<sup>3</sup>» при нормуванні вмісту поліциклічних ароматичних вуглеводнів «не більше 11 % обсягу». Згідно ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне євро. Технічні умови» дизельне паливо повинно відповідати наступним показникам (в залежності від марки): цетанове число – не менше 48-51 одиниць, густина за температури 15 °С в межах 800-845 кг/м<sup>3</sup>, масова частка поліциклічних ароматичних вуглеводнів – не більше 8 %, сірки – не більше 10 мг/кг, температура спалаху в закритому тиглі – не нижче 55 °С, масова частка домішок – не більше 24 мг/кг [2].

Нафта являє собою горючу рідину від рухомої до густої консистенції із специфічним запахом. Складається вона в основному з парафінів, нафтенів та ароматичних вуглеводнів, містить в якості домішок азот- кисень- та сірковмісні сполуки, зокрема, сполуки міді, заліза, нікелю, ванадію.

Вміст вуглеводнів в нафті може сягати 97-98%, але зустрічаються нафти (наприклад, нафтородовища Мексики), в яких вміст вуглеводнів складає близько 50%. Вміст вуглецю в нафті складає звично 83-87%, водню – 11-14%. Але так як нафта є дуже складною багатокомпонентною сумішшю вуглеводнів різних класів, повністю розшифрувати її склад досі не вдалося. Найбільш детально досліджений індивідуальний склад бензинової фракції.

Густина нафти коливається від 0,80-0,95 г/см<sup>3</sup>. Дуже рідка зустрічаються нафти з густиною більше одиниці. Густина нафти залежить в певною мірою від глибини її залягання, причому у ряді випадків у міру збільшення глибини вона зменшується, в інших, навпаки, збільшується. Зменшення густини з глибиною залягання можна пояснити тим, що на великій глибині вплив такого фактору, як вивітрювання, що приводить до випаровування легких фракцій, значно послабшано та має місце адсорбція ґрунту смолистих сполук.

Нафти поділяються на нафти з малим вмістом сірки (менше 0,5%), сірністі (0,51-2,0%), з великим вмістом сірки (більше 2 %). Більшість реакторів НПЗ гідропереробки нафтової сировини, що знаходяться в даний час в експлуатації, спроектовані і побудовані в середині 70-х років. Оскільки виходи

продуктів і їх якість змінилися, багато НПЗ змогли отримати переваги від використання прогресу в розробці каталізаторів і уникнути великих капіталовкладень у свої установки. Однак для того, щоб повністю реалізувати потенціал реакторної системи, необхідна докладна оцінка робочих характеристик і конструкції існуючих реакторних систем у поєднанні з ретельним розглядом наявних варіантів модернізації реакторів. З удосконалення якості дизельних палив великі зусилля докладають Європейські країни. У них прийнято концепцію посилення вимог до цього виду палива, особливо за вмістом у ньому сірчистих сполук. В даний час, обмежена кількість нафтопереробних заводів у світі, може отримувати дизельне паливо з ультра низьким вмістом сірчистих сполук. Крім цього в цих паливах передбачається зменшення присутності ароматичних вуглеводнів, підвищенні цетанового числа (в даний час 52 пункту, а в перспективі до 55-58 пунктів).

Перед тим, як нафта поступає на нафтопереробний завод, вона проходить на нафтопромислах процеси сепарації та стабілізації, що полягають в частковому, або повному виділенні з нафти газу. Цей процес проходить в апаратах, які називаються трапами або сепараторами. Далі нафта по трубопроводам або залізничним транспортом направляється на НПЗ. Майже люба нафта, що поступає на НПЗ вміщує приблизно 5% води, 1,5% солей, 0,5% механічних домішок.

Розглянемо, що ж являє собою нафтопереробний завод.

Основу нафтопереробних заводів складають установки підготовки нафти, первинної переробки нафти, термічний і каталітичний крекінг, платформинг, гідроочищення, депарафінізація оливи, переробка бітумів.

Перелік технологічних установок на НПЗ може різнитися один від одного в залежності від асортименту нафтопродуктів, що випускаються, і якості нафти, що надходить на переробку.

Сучасні процеси переробки нафти протікають при різноманітних умовах: в інтервалі температур від  $-60^{\circ}\text{C}$  (виробництво оливи) до  $850-900^{\circ}\text{C}$  (піроліз етану) і при тисках від глибокого вакууму (перегонка важких нафтових залишків) до 150 МПа (виробництво поліетилену).

Принципова схема НПЗ приведена на рис. 14.1.

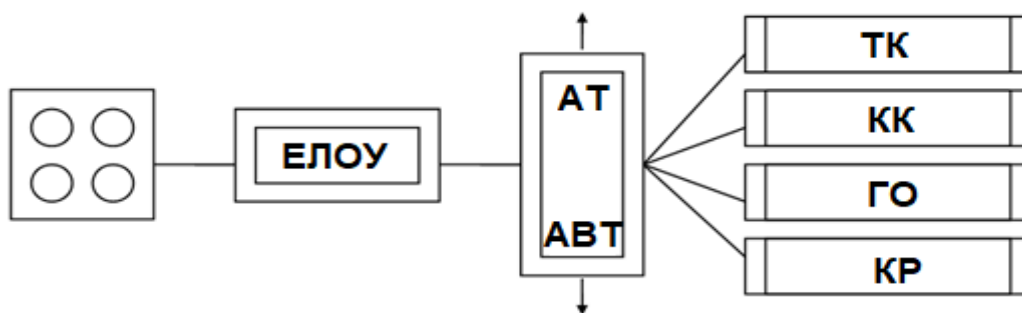


Рисунок 14.1 – Принципова схема НПЗ.

ЕЛОУ – електрознесолуюча, електрозневоджуюча установка.

АТ – атмосферна трубчатка (установка для атмосферної перегонки нафти на фракції з різними температурами кипіння ( $t = 330-360\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Одержують газ, бензин, лігроїн, гас (керосин), газойль, мазут.

АВТ – атмосферно-вакуумна трубчатка (установка для одержання маслянистих дистилатів з мазуту шляхом підігріву його в трубчастих печах до  $400-420\text{ }^{\circ}\text{C}$  з наступним поділом у колонах у вакуумі. Залишковий продукт – гудрон).

ТК – термічний крекінг (розщеплення) масляних фракцій нафти з утворенням газоподібних, рідких та твердих (кокс) продуктів. За допомогою деструктивної переробки нафтових фракцій одержують більш низькомолекулярні продукти. Проходить під впливом високої температури ( $t = 450-600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та тиску –  $0,2-7\text{ МПа}$ ),  $T=2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Недолік методу – бензини термічного крекінгу мають невисоке октанове число та низьку стабільність при зберіганні.

КК – каталітичний крекінг (процес проводиться при більш низьких температурах  $300-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при атмосферному або декілька підвищеному тиску ( $0,2-0,3\text{ МПа}$ ) і з використанням каталізаторів (алюмосилікати, що являють собою глини, які оброблені присадками оксидів кобальту, нікелю, марганцю, або інших металів.). Розрізняють три способи КК: на стаціонарному шарі каталізатору; на рухомому шарі каталізатору; у киплячому шарі каталізатору. КК – найбільш поширений в нафтопереробній промисловості процес, за об'ємами сировини, що переробляється, займає друге місце після первинної перегонки нафти. Застосовують для одержання легких моторних палив, а також більш високооктанових бензинів та ароматичних вуглеводнів. Сировина – нафтові фракції з температурою кипіння  $300-500\text{ }^{\circ}\text{C}$  та низькооктановий бензин.

ГО – установки гідроочищення (очищення нафтопродуктів від сірчистих, кисневих і азотистих сполук - шляхом гідрування сірчистих і ін. сполук у реакторах при тиску –  $2-7\text{ МПа}$  і  $t = 350-420\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Додатки можуть погіршувати властивості нафтопродуктів, травлять каталізатори.

КР – каталітичний риформінг – переробка низькооктанових бензинів, або лігроїну у високооктанові (октанове число  $80-85$ ), а також ароматичні вуглеводні – бензол, толуол тощо з використанням каталізаторів. Тиск –  $1-5\text{ МПа}$ ,  $t = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , каталізатор – алюмоплатиновий.

Платформінг – вид риформінгу, платиновий, платино-ренієвий каталізатор, процес ведуть під тиском водню, щоб не було коксування каталізатору (тривалість роботи каталізатора –  $1,5-2$  роки, отруюється сіркою).

Палива для автомобільних двигунів повинні мати високе октанове число ( $85-90$ ). Октанове число (ОЧ) характеризує властивості палив та олив, що полягають в стійкості до замерзання. За еталон взято ізооктан з октановим числом  $100$ . Одержання високооктанових палив можливе шляхом додавання до бензинів індивідуальних високооктанових вуглеводнів). Наприклад, ізооктан (ОЧ= $100$ ), бензол (ОЧ= $108$ ), толуол (ОЧ= $103$ ), етилбензол (ОЧ= $98$ ).

Аналізуючи схему НПЗ, технологічні процеси, що проходять на кожній ділянці, режим роботи, кількість і властивості речовин, що обертаються, і ма-

теріалів у даних процесах, можна зробити висновок про те, що на підприємствах нафтопереробки практично немає пожежобезпечних ділянок [3-5].

## 14.2 Загальна оцінка безпеки нафтопереробних заводів

Техногенна небезпека нафтопереробних заводів надзвичайна. Вона обумовлена фізико-хімічними і пожежонебезпечними властивостями продуктів, що переробляються, а також режимом роботи технологічного устаткування. Безліч апаратів, заповнених нафтою і нафтопродуктами, працюють при високих температурах і підвищеному тиску. Типовий нафтопереробний завод з потужністю 10-15 млн. тон/рік зосереджує на своїй промисловій площі від 300 до 500 тис. тон вуглеводневого палива, енергія вибуху якого є еквівалентною 3-5 мегатон тротилу [6].

Про розміри матеріального збитку на підприємствах нафтохімії можна судити за статистичними даними найбільш великих пожеж, що виникли як у колишньому СНД так і за кордоном. Так, за період 1987-1997 р. на об'єктах зберігання, переробки і транспортування нафти і нафтопродуктів відбулося 200 пожеж (160 – у наземних резервуарах з бензином (49%), сировою нафтою (26%) і мазутом (24%). 12 квітня 1990 р. на Лисичанському НПЗ на установці №3 первинні перегонки нафти ЕЛОУ-АВТ-8 виникла пожежа, у результаті поширення якої на колону №2 обрушилися апарати повітряного охолодження і зруйнувався паливопровід. Площа пожежі склала 432 м<sup>2</sup>. 21 вересня 1994 р. на цьому ж заводі виникла пожежа на трубчастій печі П-102 установки каталітичного крекінгу. Причина пожежі – нещільне з'єднання фланцевих прокладок продуктопроводу секції. Пожежа супроводжувалася вибухами й обваленнями технологічного устаткування, викидами парогазоповітряних сумішей, розтіканням легкозаймистих речовин. Знищено трубчасту піч. У результаті аварії загинули механік цеху і старший інспектор пожежного нагляду.

Щорічно на виробничих об'єктах нафтогазової галузі України виникає близько 20 пожеж, на яких гине 1-2 та травмується майже 10 осіб, пожежами знищується понад 8 будівель та споруд. Матеріальні збитки становлять понад 2 млн. грн. (без врахування витрат на відновлення об'єктів).

Пожежі (за даними асоціації пожежного захисту США) у 1990 р. на НПЗ завдали шкоди: у штаті Нью-Джерсі – 50 млн., у штаті Техас – 6 млн., у штаті Пенсільванія 3 млн. доларів. На технологічних установках НПЗ Великобританії пожежі завдали шкоди: 1985 р. – 500 тис., 1987 р. – 750 тис., 1988 р. – 2,5 млн. фунтів стерлінгів.

В останні роки, як у нашій країні, так і за кордоном, число пожеж на НПЗ збільшився і збиток від окремих великих пожеж зріс. Це пов'язано, головним чином, зі збільшенням одиничної потужності сучасних установок і апаратів.

Це підтверджують статистичні дані Національної асоціації пожежного захисту США. За 23 року (1967-1991р.) у США відбулося 28 великих аварій на НПЗ по технологічних причинах:

- первинна обробка нафти – 2;
- гідроочищення – 2;
- гідрокрекінг (КК) – 3;
- каталітичний крекінг – 6;
- алкіляція (КР) – 5;
- коксування – 2;
- трубопроводи, ємності, інші – 8.

На НПЗ пожежі і вибухи можливі усередині апаратів у виробничих будівлях і на площадках («повітряні» вибухи).

Встановлено, що в навколишній атмосфері досить 40-50 г парів бензину на 1 м<sup>3</sup> повітря, щоб це середовище перетворити у вибухонебезпечне. Для створення вибухонебезпечного середовища в апараті обсягом у 25 м<sup>3</sup> досить випарити в ньому 1 кг бензину. Відповідно до результатів аналізу великих пожеж на НПЗ, майже всім пожежам передувало утворення горючого середовища на відкритому повітрі, поза виробничою апаратурою. У результаті скидання (аварійного) в атмосферу горючого газу або парів нафтопродукту повітряно-паро-повітряна хмара, що утворилася, при зіткненні з джерелом запалювання викликає великої сили вибух, що приводить до часткового чи повного руйнування апаратів і споруд, виходу і розтіканню нафтопродуктів.

Пожовибухонебезпека НПЗ характеризується також наявністю дуже розгалуженої мережі нафтопроводів, газопроводів, складною системою виробничої каналізації, що займають територію в кілька десятків квадратних кілометрів.

*Найбільш ймовірні причини виникнення пожеж на НПЗ:*

- порушення технологічного процесу;
- несвоєчасний чи недоброякісний ремонт апаратури й устаткування;
- невідповідність апаратури, устаткування, електросилових і освітлювальних ліній, електроарматури, контрольно-вимірювальних приладів, вентиляційних, опалювальних і інших систем, що відповідають, вимогам норм;
- порушення передбаченого протипожежного режиму.

Багато аварій, надзвичайних ситуацій на НПЗ викликаються недотриманням вимог пожежної безпеки, як при проектуванні, так і при експлуатації технологічного обладнання. Так, на Орському НПЗ (Росія) в результаті переливання ємності для збирання фенольної води на очисних спорудах установки фенольної очистки оливи були допущені витоки фенолу з наступним забрудненням ріки Урал. Імовірність такої аварії була вже закладена в проекті, що не передбачав вимір рівня та попереджувального сигналу про переповнення ємності. В 1990 році на Ярославському НПЗ (Росія) виникла велика аварія, в результаті якої загинуло 5 осіб, були зруйновані будівлі та установки. Технологічний процес перед аварією проводився з серйозними відхиленнями від регламенту, без засобів контролю та сигналізації про перевищення параметрів, без засобів протиаварійного захисту, що привело до викиду газу з технологічної системи через робочі запобіжні клапани в атмосферу (не була передбачена закрыта система) та об'ємному вибуху на установці.

*Специфічними джерелами запалювання на НПЗ можуть бути відкритий вогонь форсунок і нагріті конструкції технологічних печей, самозаймання пірофорних сполук, іскри механічного походження, відкритий вогонь і розпечений метал при ремонтних вогневих роботах, самозаймання нафтопродуктів, самозаймання клоччя, ганчірок, просочених олівами.*

*Швидкому розвитку і поширенню пожеж на НПЗ сприяють вихід назовні великої кількості нафтопродуктів на момент пожежі, тривале надходження нафтопродуктів у зону горіння з ушкоджених апаратів, неприступність палаючих засувок, розтікання нафтопродуктів по прилягаючій території, загазованість території, вибухи апаратів, що супроводжуються розлітанням уламків, поширенням вибухової хвилі, сильними руйнуваннями після вибуху.*

**Висновок.** НПЗ являє собою складний технологічний комплекс, що включає безліч технологічних процесів, які мають підвищену пожежну небезпеку, попередження якої ґрунтується на розумінні причин пожежовибухонебезпеки.

### **Питання для самоконтролю**

1. В чому полягає небезпека сучасних нафтопереробних підприємств?
2. Навести принципову схему роботи НПЗ.
3. Які установки є основними на нафтопереробних виробництвах?
4. Які процеси відбуваються при первинній і вторинній переробці нафто на НПЗ?
5. Назвіть найбільш ймовірні причини пожеж та вибухів під час переробки нафти.

### **Рекомендована література**

1. Постановою Кабінету Міністрів України «Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки» № 1030 від 13 вересня 2022р.
2. ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне євро. Технічні умови».
3. НАПБ В.01.058-2008/112 Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів.
4. ВБН В.2.2-58.1-94\* Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа.
5. ВБН В.1.1-00013741-001:2008 Факельні системи. Промислова безпека. Основні вимоги.
6. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Кріса І.Я., Білим П.А., Тесленко О.О. Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки: Навчальний посібник. Х.: УЦЗУ, 2010. 343 с.

## ЛЕКЦІЯ 15 БЕЗПЕКА СКЛАДІВ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ

### ПЛАН

- 15.1 Загальна характеристика складів нафти і нафтопродуктів
- 15.2 Пожежна безпека при зберіганні легкозаймистих і горючих рідин

#### **15.1 Загальна характеристика складів нафти і нафтопродуктів**

Підвищена пожежна безпека резервуарів на нафтобазах обумовлена тим, що на невеликих площах концентрується велика кількість ємностей зі значними запасами легкозаймистої рідини. Аварії, що супроводжуються вибухами й пожежами, як правило, відбуваються найчастіше за рахунок втрати герметичності фланцевих з'єднань, запірної арматури, несправностей запобіжних клапанів і порушень правил експлуатації обладнання, контрольно-вимірних приладів й автоматики. Також до ймовірних причин пожеж у резервуарних парках згідно зі статистикою відносять: помилки при проектуванні та порушенні режимів експлуатації, при очищенні від пірофорних відкладень, ремонті, демонтажі, внаслідок дефектів основ резервуарів, порушення міцності корпусу, його корозії, розряди атмосферної електрики. Статистичні дані про пожежі в резервуарах у нафтовій промисловості та у системі постачання нафтопродуктами свідчать про те, що надзвичайні ситуації, пов'язані з пожежами і вибухами нафтопродуктів, становлять найбільшу загрозу життю людей, мають особливо трагічні наслідки. Проаналізуємо статистичні дані щодо пожеж із світлими нафтопродуктами, які сталися за останній час. Так, причиною пожежі на нафтобазі Мурманська «Перший Мурманський термінал» (Росія) у січні 2014 року стало недотримання заходів безпеки при проведенні ремонтних робіт; пожежа почалася при відборі проб в ємності з бензином, стався спалах ємності з бензином об'ємом 1,8 тис. м<sup>3</sup>. За даними правоохоронних органів, постраждала одна людина. 6 березня 2015 року на території складу нафтопродуктів у місті Брест (Білорусь) згоріли 180 тон бензину А-95 та 15 тон машинних мастил. 10 січня 2015 року на Махачкалінській нафтобазі (Росія) стався вибух під час перекачування бензину у бензовоз.

На нафтобазі у Васильківському районі сталася масштабна техногенна катастрофа, спричинена вибухом і наступним займанням нафтопродуктів на нафтобазі біля села Крячки Васильківського району Київської області, що почалася 8 червня 2015 року і тривала 8 діб. Пожежа становила серйозну небезпеку, оскільки поруч розташована військова частина з бойовим арсеналом. В Державній службі з надзвичайних ситуацій назвали її «найскладнішою з 1960-х років». 8 червня 2015 року, о 17:29 загорівся резервуар з паливом обсягом 800 м<sup>3</sup> (650 тон), полум'я охопило 4 резервуари. Пожежу почали гасити, але 9 червня, уночі, вогонь охопив уже 8 резервуарів з паливом. У середині дня розпочалося тимчасове відселення громадян з двокілометрової зони від межі пожежі. Станом на 17:00 на нафтобазі продовжували горіти лише три резервуари – один з мастилом, два – з паливом. Решта резервуарів було зруй-

новано, до ліквідації пожежі залучено близько 300 рятувальників та 45 одиниць техніки. До кінця доби 9 червня загоряння вдалося локалізувати. 10 червня, о 5:30, на нафтобазі стався черговий вибух. Пізніше рятувальники пояснили, що це лише тріснула обшивка однієї з цистерн. Протягом дня 10 червня нафтопродукти продовжували вигорати, о 22:10 стався ще один вибух. Пожежники провели чотири пінні атаки, при цьому о 10:15 год 11 червня стався ще один вибух, в результаті якого вибухнули дві ємності по 800 м<sup>3</sup>, 12 червня пожежа поступово згасала, догорав один великий резервуар, а 13 червня знову зайнявся один резервуар, який продовжував горіти. До вечора та ранку 14 червня резервуар вигорів. Останні ознаки горіння резервуарів зникли увечері 16 червня. Внаслідок пожежі на нафтобазі загинуло шестеро осіб, із них четверо – пожежники, принаймні 18 осіб травмовано. 9 червня мешканці Василькова спостерігали опади у вигляді дощу з мазутом. Кількість небезпечних речовин у повітрі Києва 9 червня перевищила гранично допустимі концентрації. На території нафтобазы концентрація бензопірену було перевищено у 26 разів.

*Розглянемо класифікацію складів нафти і нафтопродуктів.*

Згідно ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа», (700 мм.рт.ст. при температурі 20 °С та температура спалаху до 230 °С включно, документ не стосується підземних сховищ, що споруджуються гірськими способами, резервуарів, що входять до складу технологічних установок, резервуарів, розміщених в казематах, СНН Міністерства оборони України), склади нафти і нафтопродуктів підрозділяються на 2 групи:

1. Самостійні склади нафти і нафтопродуктів (СНН). До них відносяться:
  - резервуарні парки і наливні станції магістральних нафтопроводів і нафтопродуктопроводів;
  - товарно-сировинні парки нафтопереробних заводів (НПЗ);
  - сировинні парки нафтохімічних підприємств (НХП).

2. Склади нафтопродуктів, що входять до складу підприємств (промислових, транспортних, енергетичних, механізованих, сільськогосподарських)

За принципом оперативної діяльності нафтобазы поділяються на перевалочні, розподільні, перевалочно-розподільні і бази зберігання.

За транспортними зв'язками – на залізничні, водяні, водно-залізничні, трубопровідні і глибинні бази, що одержують нафтопродукти автотранспортом.

За класифікацією нафти і нафтопродуктів, що зберігаються на :

- СНН зберігання легкозаймистих рідин (ЛЗР);
- СНН зберігання горючих рідин (ГР);
- СНН загального зберігання (ЛЗР і ГР одночасно).

В залежності від загальної місткості СНН, що є самостійними підприємствами, поділяються на категорії та підкатегорії:

Категорія СНН Підкатегорія СНН Загальний обсяг в м<sup>3</sup>:

1. 1-а понад 300 000
- 1-б понад 100 000 до 300 000 вкл.



- |    |           |                        |
|----|-----------|------------------------|
| 2. | 2-а понад | 50 000 до 100 000 вкл. |
|    | 2-б понад | 20 000 до 50 000 вкл.  |
| 3. | 3-а понад | 10 000 до 20 000 вкл.  |
|    | 3-б понад | 2000 до 10 000 вкл.    |
|    | 3-в до    | 2000 вкл.              |

Загальна місткість СНН визначається як сумарний об'єм резервуарів і тари для зберігання нафти і нафтопродуктів. Об'єм резервуарів і тари приймається по їх номінальному об'єму. При визначенні загальної місткості не враховуються: проміжні резервуари (біля зливо-наливних естакад); видаткові резервуари котельних, дизельних тощо загальною місткістю до 100 м<sup>3</sup> – тільки СНН першої групи; видаткові резервуари паливо-заправних пунктів з окремими зливо-наливними пристроями до 3 стояків – тільки СНН першої групи; резервуари збирання витоків; збирання відпрацьованих нафтопродуктів і олів.

Нафтопродукти можуть також зберігатись в спеціально обладнаних будівлях, під навісом, на відкритих площадках в тарі – від 5 до 15 діб.

Зберігання ЛЗР в тарі на відкритих площадках не допускається.

Загальна місткість однієї складської будівлі для нафтопродуктів в тарі не повинна перевищувати 1200 м<sup>3</sup> ЛЗР або 6000 м<sup>3</sup> горючих нафтопродуктів. При одночасному зберіганні ЛЗР та ГР – із розрахунку, що 1 м<sup>3</sup> ЛЗР прирівнюється до 5 м<sup>3</sup> ГР.

При зберіганні в закритому складі ЛЗР не допускається зберігання інших речовин, що можуть утворити з нафтопродуктами вибухонебезпечні концентрації (ВНК).

Складські будівлі та площадки для зберігання нафтопродуктів в тарі повинні бути оснащені засобами механізації вантажно-розвантажувальних та транспортних операцій.

Основними спорудженнями складів нафти і нафтопродуктів є установки для зливу і наливу, насосні станції і спорудження для зберігання нафти і нафтопродуктів.

*Операції, що здійснюються на СНН*

Всі операції на СНН розділяють на основні та допоміжні.

До основних операцій відносяться:

- прийом нафтопродуктів, що доставляються на базу залізничним, річковим, морським, автотранспортом, по трубопроводах або повітряним транспортом;
- зберігання нафтопродуктів у резервуарах і тарних сховищах;
- відпуск нафтопродуктів великими партіями в залізничні цистерни і маршрути, нафтоналивні судна або по трубопроводах;
- відпуск нафтопродуктів малими партіями через АЗС, розливочні, тарні склади;
- замір, облік, визначення якості нафтопродуктів і оформлення товарно-транспортної документації.

При виконанні основних операцій проводять різні внутрішньоскладські та перевантажувальні роботи, а також при необхідності розігрівання нафтопродуктів.

До допоміжних операцій відносяться:

- прийом і регенерація відпрацьованих олиив;
- очищення і зневоднювання нафтопродуктів, змішування олиив палив до відновлення їхньої якості, очищення нафтовміщуючих промислових стоків;
- ремонт і виготовлення тари;
- експлуатація котельних, транспортних і енергетичних пристроїв.

*Основне обладнання СНН та його експлуатація.*

Одним з основних споруджень СНН є резервуари, що призначені для зберігання нафти і нафтопродуктів і виробництва деяких технологічних операцій (відстоювання нафтопродуктів від води і механічних домішок, змішування нафтопродуктів і ін.)

Ємності для зберігання нафти і нафтопродуктів підрозділяють за ознаками:

- за матеріалами, з якого вони виготовлені: металеві, залізобетонні, земляні, синтетичні;
- за конструкцією: вертикальні циліндричні з конічними плаваючими і сферичними дахами, з понтонами (в основному типу РВС), горизонтальні циліндричні з плоскими днищами (типу РГС), кульові, спеціальні резервуари, прямокутні та траншейні.

У залежності від розташування по вертикалі стосовно прилягаючої території резервуари поділяють на наземні, а також підземні, тобто заглиблені в ґрунт або обсіпані ґрунтом.

Наземними називають резервуари, у яких днище знаходиться на одному рівні або вище щонайнижчої планувальної відмітки прилягаючої площадки.

Підземними називають резервуари, що заглиблені у ґрунт, або обсіпані ґрунтом, якщо найвищий рівень рідини в них знаходиться нижче не менше, ніж на 0,2 м найнижчої планувальної відмітки прилягаючої площадки, шириною не менш 3 м.

На нафтобазах і перекачувальних станціях в основному застосовують сталеві (типів РВС і РГС) і залізобетонні (типу ЖБР) резервуари різних конструкцій. Резервуари повинні відповідати ряду вимог, бути герметичними для нафтопродуктів та їх парів, мати просту форму, бути довговічними і дешевими.

На території нафтобази або перекачувальної станції по протипожежних розуміннях резервуари розміщують групами. Кожна група резервуарів повинна бути обгороджена суцільним земляним валом або огороженням (обвалування), розрахованим на гідростатичний тиск рідини, що розлилася. Висота обвалування або стіни, що обгороджує кожену групу резервуарів повинна бути на 0,2 м вище рівня розрахункового об'єму рідини, що може розлитися.

Найбільше поширення в умовах нафтобаз і перекачувальних станцій одержали вертикальні сталеві циліндричні резервуари низького тиску з щито-

вою конічною або сферичною покрівлею, так називані атмосферні резервуари з плаваючими дахами, і понтонами (типові резервуари). Крім цього використовуються резервуари із стаціонарним дахом, що обладнані газовою обв'язкою або установкою уловлювання легких фракцій.

Каплеподібні резервуари, названі так через зовнішню форму, що нагадує форму краплі, застосовують для збереження нафтопродуктів, що характеризуються високим тиском парів (до 0,2 МПа). Однак виготовлення таких резервуарів складно, тому вони не одержали широкого поширення.

Кульові резервуари витримують значні тиски (до 1 МПа) і високий вакуум (до 500 мм.вод.ст.) Діаметр їх практично не обмежений. Наприклад, у Японії, побудовані кульові резервуари діаметром 33 м, розраховані на роботу під тиском 3 МПа. На НПЗ у кульових резервуарах зберігають метан, етилен, сиру нафту на установках ЭЛОУ. Витрата металу на кульові резервуари менше, ніж на циліндричні, виготовлення більш складне, але в даний час освоєно досить добре.

Резервуари виготовляють на заводах у виді рулонів, в умовах нафтобази їх монтують на підготовленому фундаменті. Вони розраховані на внутрішній надлишковий тиск до 2000 Па і вакуум до 250 Па, об'єм резервуарів від 100 до 120 тис. м<sup>3</sup>. Корпус і днище резервуарів виготовляють зі сталевих листів товщиною 4-25 мм. Для покриття резервуарів застосовують сталеві листи товщиною 2,5-3 мм. Для запобігання корозії днища резервуар укладають на ізолюючий шар, що представляє собою суміш піску з бітумом. Насипні підстави, на які встановлюють резервуари мають навколо себе брівку шириною 0,7 м; укіс підстави виконують з ухилом 1:1,5.

До основного обладнання резервуарів відносяться:

- приймально-роздавальні пристрої;
- дихальна і запобіжна арматура;
- прилади контролю і захисту;
- підігрівачі пристрої;
- протипожежне обладнання.

Розглянемо основні елементи обладнання:

- сходи (для відбору проб і контролю рівня нафтопродукту);
- замірна площадка (знаходиться у місці приєднання сходів до даху резервуара, має перила висотою 1 м в обидва боки від сходів, на ній установлені замірний люк, замірні пристосування і дихальні клапани);

– приймально-роздавальні патрубки (штуцера) - призначені для приєднання до них приймальних і роздавальних трубопроводів зовні резервуара; для запобігання великих витоків продукту при аваріях на приймальних трубопроводах приймальний патрубок усередині резервуара має запобіжно-замикаючий пристрій (хлопавку), що дозволяє швидко замикати його (хлопавка охороняє нафтопродукт від витоків з резервуара при ушкодженні приймально-роздавальних трубопроводів і їхніх засувов, при наповненні резервуара струмінь нафтопродукту силою тиску піднімає кришку хлопавки, а при зу-

пинці перекачування кришка хлопавки під дією сили ваги опускається на своє місце, закриваючи трубу);

- замірний люк служить для ручного заміру в резервуарі рівня нафтопродукту, а також для відбору проб за допомогою ручного пробовідбірника;

- люк-лаз, встановлений на нижньому поясі резервуара і призначений для входу обслуговуючого персоналу усередину резервуара при його ремонті, резервуари з плаваючим дахом і понтоном обладнують додатковим люком-лазом на рівні третього поясу резервуара;

- світловий люк встановлюють на даху над приймально-роздавальними патрубками, для провітрювання резервуара, для спуску та підйому внутрішнього обладнання;

- дихальний клапан (КД) забезпечує «великі і малі дихання», служить для з'єднання простору усередині резервуара з атмосферою (являє собою литу коробку – з чавуну або алюмінію, у якій по одній вертикальній осі усередині корпусу розміщена нижня тарілка (клапан) тиску і верхня тарілка вакууму, які під дією своєї власної ваги сідають на сідла.

Клапан працює таким чином: при тиску усередині резервуара вище припустимого значення відкривається нижній клапан і забезпечує можливість виходу газів в атмосферу, а другий клапан відкривається при розрідженні і дає можливість повітря ввійти в резервуар. Як тільки тиск (чи вакуум) у резервуарі будуть відновлені в межах норми, відповідний клапан під дією своєї власної ваги сідає на своє сідло, ізолювавши резервуар від атмосфери. Таким чином, тиск (вакуум) у резервуарі регулюється вагою клапанів. На нафтобазах застосовують клапани типів ДК і КД пропускною здатністю до 600 м<sup>3</sup>/год). Матеріал корпусу клапану повинний виключати утворення пірофорних сполук і, отже, можливість самозаймання. Ущільнення між клапанами і сідлами забезпечується прокладкою з оливо-бензо- і морозостійкої гуми, прикріпленої до сідла. Щоб запобігти промерзанню і «схоплюванню» клапанів при морозах, центральний напрямний стрижень і зовнішні напрямні стрижні покривають оболонкою з фторопласту. Огляд і перевірка дихальних клапанів: раз на місяць при морозі, два рази на місяць в інший час року:

- запобіжні клапани призначені для запобігання руйнуванню резервуара тобто обмеження надлишкового тиску або вакууму в газовому просторі резервуара у випадку відмовлення в роботі дихального клапана, а також якщо перетин дихального клапану виявиться недостатнім для швидкого пропуску газу або повітря; запобіжні клапани працюють за принципом гідравлічного затвору, з якого витісняється рідина, коли тиск або вакуум перевищать припустимі значення, і тоді газовий простір резервуара з'єднається з атмосферою. Після відновлення робочого тиску рідина знову замикає затвор. Гази прориваються в атмосферу (при надлишковому тиску в резервуарі) або повітря надходить у резервуар (при вакуумі в ньому) через зубцюваті крайки перегородки; рідина затвора повинна бути незамерзаючою, малов'язкою не повинна випаровуватися (солярове масло, дизельне паливо, водяний розчин гліцерину тощо).

– вогнеперешкоджувачі встановлюють між резервуаром і дихальним запобіжним клапаном і запобігають проникненню полум'я або іскри в газовий простір резервуара;

– водоспускний (сифонний) кран для спуску з резервуара підтоварної води, являє собою трубу, пропущену через сальник усередину резервуару.

На кожному нафтопроводі чи продуктопроводі, зв'язаному з резервуаром, крім запірної арматури безпосередньо біля резервуара встановлюють засувку на відстані 100-500 м від резервуара. Для захисту від прямих ударів блискавки і розрядів статичної електрики резервуари заземлюють. При збереженні високов'язких нафтопродуктів для підігріву продукту з метою полегшення перекачування по дну або в роздавальному патрубку монтують зміювик або трубчастий пучок, у якому проходить водяна пара, гаряча вода чи інший теплоносій. Для запобігання від нагрівання сонячними променями, ємності фарбують зовні в білий колір, а в разі потреби створюють тінювий захист.

Для нафти та легкозаймистих нафтопродуктів використовують резервуари з плаваючим дахом і понтоном. В резервуарних парках для зберігання нафти та нафтопродуктів з температурою спалаху парів 28 °С та нижче, використовують резервуари з плаваючим дахом (120 тис. м<sup>3</sup>) та понтонами (50 тис. м<sup>3</sup>). При цьому слід використовувати неметалеві понтони. Понтон являє собою диск із поплавками, що забезпечують його плавучість. Між понтоном і стінкою резервуара залишають зазор шириною 100-300 мм щоб уникнути заклинювання понтона внаслідок нерівностей стінки. Понтон плаває на поверхні рідини і не має твердих єднальних металевих конструкцій з корпусом (днищем, стінкою і дахом). Нижнє положення понтона фіксується стійками, а верхнє – максимальним рівнем рідини. Для доступу обслуговуючого персоналу на понтон з метою його огляду передбачаються люки-лази: один на даху – при максимальному рівні рідини і перебуванні понтона на плаву й один у другому чи третьому поясі стінки знизу, коли понтон знаходиться на опорних стійках.

Резервуари з плаваючим дахом не мають стаціонарного покриття, роль даху в них виконує диск із сталевих листів, що плаває на поверхні рідини. Для створення плавучості по контурі диску дах постачений кільцевим понтоном, розділеним переборками на герметичні відсіки (короба).

Плаваючий дах, як і понтон, не має твердих зав'язків з корпусом (стінкою і днищем) резервуару і працює як самостійний елемент (піднімається й опускається) при зміні рівня рідини в резервуарі. Її нижнє положення фіксується стійками, прикріпленими до даху, або постійними опорами на днищі, а верхнє – максимальним рівнем рідини, який повинний бути на 600 мм нижче верху стінки.

Щоб не допустити обертання плаваючого даху, рух його здійснюється по направляючим пристроям, що запобігають перекосу даху при аварійній ситуації (затоплення даху в рідину чи опускання на стійки). При відсутності напрямних може відбутися перекіс даху при затопленні, унаслідок чого можливий удар у стінку резервуара, що у свою чергу, може викликати руйнування

стілки. Зазор між направляючими і їхніми патрубками перекривається за рахунок пружних властивостей кільцевого ущільнення навколо плаваючого даху. Ущільнення (затвори) між краями диску і стінкою резервуара можуть бути механічними (тверді) чи м'які (еластичні). Механічні ущільнення різноманітні по конструкції і складні у виготовленні, тому їх застосовують тільки в тому випадку, коли не можна використовувати м'які затвори через їх малу стійкість в середовищі продукту. М'які затвори можуть бути губчастими, рідинними і повітряними, їх виготовляють із прогумованої тканини, пінополіуретану й ін.

Як показала практика, застосування резервуарів із плаваючим дахом дозволяє знизити втрати нафти і нафтопродуктів від «малих дихань» на 80-85%, а від «великих дихань» – на 90-95% у порівнянні з втратами в типових резервуарах. Але як показує статистика пожеж в США, резервуари з плаваючими дахами (30%) та понтонами (20%) мають високу пожежну небезпеку.

## **15.2 Пожежна небезпека при зберіганні легкозаймистих і горючих рідин**

### *Нормативні документи*

1. НАПБ В.01.058-2008/112 Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів.
2. ВБН В.2.2. - 58.2-94 «Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти та нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа».
3. НПАОП 0.00-1.41-88 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.
4. Наказ МВСУ від 30.12.2014 № 1417 «Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні»

Пожежна небезпека зберігання нафти і нафтопродуктів обумовлюється пожежовибухонебезпечними властивостями нафти і нафтопродуктів, можливістю утворення горючого середовища усередині резервуарів і зовні, появою джерел запалювання і наявністю шляхів поширення пожежі.

Нафта і нафтопродукти мають ряд специфічних властивостей, що ускладнюють їхнє зберігання. Найголовнішими з них є пожежовибухонебезпечка, здатність електризуватися, висока випаровуваність та токсичність.

Наприклад, пари бензину в 3 рази важчі за повітря, утворюють з ним вибухонебезпечну суміш. З 1 л бензину утворюється 200 л парів. Так, для створення в автоцистерні об'ємом 5 м<sup>3</sup> вибухонебезпечної концентрації суміші парів бензину з повітрям необхідно випарувати всього 142,5 г бензину. Концентрація парів бензину в повітрі, при якій досягається їхній максимальний тиск вибуху (745 кПа) дорівнює 2,25%.

Людина почуває запах бензину при концентрації його парів у повітрі 0,005%. Теоретична кількість повітря, необхідного для повного згоряння 1 кг бензину складає 15 кг.

Таблиця 15.1 – Пожежонебезпечні властивості нафти та нафтопродуктів

Бензин			
$t_{сн}$	$t_{ссп}$	КМПП ( $\varphi_n - \varphi_в$ )	ТМПП
від -27 до -39 °С	від 255 до 474 °С	від 0,76 до 8,04 %	від -37 до 10 °С
Гас (керосин)			
від 4 до 51 °С	від 216 до 260 °С	від 1,4 до 7,5 %	від 30 до 80 °С
Дизельне паливо			
від 30 до 60 °С	від 240 до 370 °С	від 1,1 до 6,8 %	від 62 до 15 °С

Під час горіння нафтопродуктів разом з димовими газами в атмосферне повітря виділяються бензапірен, сірчистий і сірчаний ангідриди, оксид вуглецю (IV), оксиди азоту, газоподібні й тверді продукти неповного згоряння палива, сполуки ванадію, натрію та ін. У зоні впливу таких речовин люди відчувають головний біль, нудоту, печіння у горлі, загострення хронічних респіраторних захворювань. Це короткостроковий вплив. Довгострокові наслідки більш різноманітні та обширні і залежать від виду речовин.

#### *Умови утворення горючого середовища*

Пожежа в резервуарному парку починається як правило з вибуху газоповітряної суміші, що знаходиться в газовому просторі між дахом та поверхнею рідини. В результаті цього виникає повне або часткове руйнування даху резервуара і виникає пожежа. Значно рідше вибух пароповітряної суміші супроводжується руйнуванням стінок резервуара з розливом рідини.

Горюче середовище (ГС) при зберіганні нафти і нафтопродуктів може утворитися: всередині резервуара – при нерухомому верхньому рівні рідини і при рухливому рівні рідини (спорожнюванні, збереженні після відкачки, наповненні), підготовці і проведенні ремонтних робіт; назовні резервуара – у результаті виходу парів нафтопродукту в атмосферу при різних технологічних операціях, при ушкодженнях і руйнуваннях резервуарів.

При нерухомому зберіганні нафти і нафтопродуктів, коли концентрація їхніх парів у газовому просторі резервуара досягає стану насичення, оцінку горючості пароповітряної суміші можна виконати за температурними межами поширення полум'я:

$$t_n \leq t_p \leq t_v \quad (15.1)$$

Раніше за розрахункову температуру приймали середню робочу температуру рідини. Однак відомо, що концентрація насичених парів  $\varphi_в$  у газовому просторі резервуару визначається температурою поверхневого шару рідини або температурою газового простору, причому за розрахункову температуру приймається найменша із цих температур, тобто береться нічна температура влітку та узимку цілодобово. Таким чином за розрахункову температуру насичення можна прийняти середню добову температуру навколишнього середовища за кліматичними нормативними та довідковими даними.

Максимальний перепад температур в різних елементах резервуару спостерігається влітку вдень і щоб визначити підвищення температури в цей час необхідно врахувати перегрів поверхневого шару над основною масою нафтопродукту. Для цього використовують методику Н.Н. Костянтинова згідно якої спочатку визначають перегрів даху (або корпусу резервуара) відносно середньої температури нафтопродукту за формулою:

$$\Delta T_{\partial} = T_{\partial} - T_{н} = \frac{q_n + \alpha_{кв}(T_3 - T_{н})}{\alpha_{кн} + \alpha_{кн} + \alpha_{кн} \left( \frac{F_n}{F_2} \right)} \quad (15.2)$$

де  $T_{\partial}$  – максимальна температура даху резервуара;  
 $q_n$  – кількість променевого тепла, що одержує резервуар опівдні від сонця, віднесеного до  $1 \text{ м}^2$  поверхні газового простору;

$\alpha_{кз}$  – коефіцієнт тепловіддачі від сухої частини корпусу резервуара до зовнішнього повітря;

$\alpha_{кн}$  – коефіцієнт тепловіддачі від корпусу до нафтопродукту радіацією;

$T_3$  – температура зовнішнього повітря;

$T_{н}$  – температура нафтопродукту;

$F_n$  – площа дзеркала нафтопродукту;

$F_2$  – сума площ стінки та даху, що округляють газовий простір резервуару.

Для того, щоб визначити величини, що входять в формулу необхідно мати географічні та кліматичні дані: широту місцевості, густину теплового потоку від сонця що падає на перпендикулярну площадку та ін.

Тоді, максимальний перегрів поверхневого шару нафтопродукту під дією сонячної радіації визначають за формулою:

$$\Delta T_{п} = T_{д} - T_{н} = \Delta T_{д} \cdot (1 + (ml/a_{гн}) \cdot [1 + (F_n/F_{г}) \cdot (a_{гн}/a_{кн})])^{-1} \quad (15.3)$$

де  $m$  – параметр, що характеризує процес прогріву нафтопродукту, розраховують за формулою:

$$m = \sqrt{\frac{\pi}{2ah}} \quad (15.4)$$

де  $a$  – температуропровідність нафтопродукту;

$h$  – довгота дня;

$\lambda$  – теплопровідність нафтопродукту.

Одержану максимальну температуру корпусу за нормальних умов експлуатації можна використати для розрахунку температури корпусу в умовах пожежі.

Дана методика оцінки горючості суміші за температурними межами поширення полум'я до резервуарів нафтобаз у більшості районів нашої країни дає наступні результати, характерні для нафтопродуктів, що нерухомо зберігаються і основна маса яких має середню температуру навколишнього середовища.



Небезпека утворення горючого середовища поза апаратами з'являється головним чином у періоди «великих і малих дихань».

Найбільш пожежонебезпечним є «великий подих», коли проводять операції наповнення резервуарів легкозаймистою рідиною після тривалого простою або наповнення резервуарів гарячим нафтопродуктом або нафтою з високим вмістом газу. Виникає проблема загазованості території резервуарних парків. В основному пожежонебезпечна загазованість має місце на нафтопромислових резервуарах, резервуарах змішування бензинів на нафтопереробні заводи.

Небезпека утворення ВНК у дихальній арматурі визначається концентрацією горючих парів у газовому просторі і кількістю парів, що викидаються. Так якщо концентрація пар у газовому просторі резервуара

$$\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v \quad (15.5)$$

то небезпеки утворення ВНК у дихальній арматурі не виникає навіть у безвітряну погоду.

Поблизу дихаючих патрубків утворюються місцеві зони НВК, об'єм яких оцінюють з формули:

$$V_{ВКП} = \frac{m}{\varphi_p} K_{\sigma} \quad (15.6)$$

де  $V_{внк}$  – об'єм місцевої зони ВНК, м<sup>3</sup>;  
 $m$  – маса парів, що виходять через дихальну арматуру, кг;  
 $\varphi_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я, кг/м<sup>3</sup>;  
 $K_{\sigma}$  – коефіцієнт запасу надійності, дорівнює 2.

Діаметр зони вибухонебезпечної концентрації пари, що утворюються навколо апарату при його заповненні визначається за формулою

$$D_{заг}^s = D_p + 10H_p \left( \frac{g \cdot \varphi_s^o}{\varphi_n^o \cdot H_p^2} \right)^{0,86}, \quad (15.7)$$

де  $g$  – продуктивність операції наповнювання, м<sup>3</sup>/с;  
 $D_p$  – діаметр апарату (резервуару), м<sup>3</sup>;  
 $H_p$  – висота апарату (резервуару), м;  
 $\varphi_s^o$  – фактична об'ємна концентрація пари при робочій температурі, %;  
 $\varphi_n^o$  – нижня КМПП, %.

Велику пожежну небезпеку несуть ушкодження і руйнування резервуарів, у результаті яких відбувається розлив і випаровування нафтопродуктів з утворенням ВНК.

#### *Причини ушкодження та руйнування резервуарів*

Найбільш характерними причинами ушкодження і руйнування резервуарів можуть бути:

– неправильний вибір товщини металевих листів при проектуванні резервуарів;

– неправильний облік міцнісних характеристик матеріалу, з якого виготовлено резервуар;

– невідповідність пропускної здатності дихальної арматури (зниження пропускної здатності ДК при інтенсивному наповненні може викликати різке збільшення тиску і, як наслідок – повне руйнування резервуара, найчастіше відбуваються локальні ушкодження резервуарів, наприклад, надрив даху в стику зі стінками (при підвищенні тиску) чи зминання верхніх поясів резервуара вище рівня рідини (при вакуумі);

– утворення підвищеного тиску внаслідок примерзання тарілок дихального клапану або заledenіння касет вогнеперешкоджувача (за рахунок конденсації парів води, що містяться у пароповітряній суміші, що витісняються з резервуару; конденсат утвориться також при контакті з найбільш охолодженими металевими елементами поверхні дихальної арматури і, зокрема, з касетою вогнеперешкоджувача, що може бути винесена за допомогою дихальних патрубків порівняно далеко від об'єму резервуара);

– перелив нафтопродукту (порушення технології процесу, некомпетентність обслуговуючого персоналу);

При експлуатації складів нафти та нафтопродуктів основними джерелами запалювання є:

– теплота прямих ударів блискавки (від блискавок з вибухом у газовому просторі резервуарів з нафтою відбувається більш 80% пожеж на складах нафти та нафтопродуктів); прояви атмосферної електрики є дуже потужними джерелами запалювання, які при відсутності захисту від них можуть підпалити горючі суміші як усередині та і назовні. Небезпека ураження прямим ударом блискавки резервуарів визначається можливістю проплавлення блискавкою металевих поверхонь, перегріванням внутрішніх стінок цих поверхонь до температури самоспалахування пароповітряної суміші або спалахуванням пароповітряної суміші безперечно від каналу блискавки за межами резервуару; розрахунками встановлено, що проплавлення металевого листа можливо тільки у випадку, якщо товщина листа менше за 4 мм. Максимум температури нагріву виникає через 1-2 с від початку нагріву і падає з підвищенням товщини листа.

– розряди статичної електрики;

– самозаймання пірофорних відкладень (самозаймання сірчистих сполук заліза найчастіше відбувається в резервуарах, де обертаються нафти і бензинові фракції з великим вмістом сірки, температура при самонагріванні в шарі відкладень, що окислюється, може підніматися до 600-700 °С, цього достатньо не тільки для займання горючої концентрації парів нафтопродуктів у суміші з повітрям, але і для її утворення при бідній концентрації, наприклад у спорожненому резервуарі);

– іскри механічного походження при ударах, при відборі проб, при вимірі рівня;

– іскри електроустаткування (пускової, регулюючої апаратури, електроприводів засувки та ін.);

– технологічні смолоскипи і вогневі нагрівачі тощо.

Характерними шляхами поширення пожежі на складах нафти та нафтопродуктів можуть бути :

- дихальна арматура (патрубки);
- трубопроводи газозрівняльної обв'язки резервуарів;
- нафтопродукти, що розлилися (витік нафтопродуктів може бути через нещільності у фланцевих з'єднаннях, через сальники засувок, що приводить до поступового просочування підлоги, поверхні ґрунту, розрахунки показують, що при руйнуванні наземних резервуарів 1 т. нафти може розлитися при шарі 10 см на 1 га поверхні);
- горючі паро-газоповітряні суміші, що утворюються при загазованості території;
- порушення вимог до розташування резервуарів й іншого устаткування відносно друг від друга.

**Висновок.** Для забезпечення пожежної безпеки резервуарів з нафтою і нафтопродуктами вирішальне значення має запобігання утворення горючої пароповітряної суміші як усередині резервуара так і поза ним, запобігання появи джерел запалювання та шляхів поширення вогню на складах нафти та нафтопродуктів.

### **Питання для самоконтролю**

1. Дайте характеристику складів нафти і нафтопродуктів.
2. Як класифікуються склади нафти і нафтопродуктів .
3. Яке обладнання є основним на складах нафти і нафтопродуктів?
4. Дати характеристику пожежонебезпечним властивостям нафти та нафтопродуктів.
5. Назвіть найбільш ймовірні причини пожеж та вибухів під час зберігання нафти.
6. Які найбільш характерні причини ушкодження і руйнування резервуарів?

### **Рекомендована література**

1. ВБН В.2.2-58.1-94\* Проектирование складов нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше 93,3 кПа.
2. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуары вертикальные стальные для хранения нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше 93,3 кПа.
3. НАПБ В.01.058-2008/112. Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів.

## ЛЕКЦІЯ 16

### ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА ПЛАСТМАС ТА ХІМІЧНИХ ВОЛОКОН

#### ПЛАН

- 16.1 Загальна характеристика пластичних мас
- 16.2 Виробництво поліетилену методом високого тиску
- 16.3 Класифікація хімічних волокон і способи їх одержання
- 16.4 Техногенна небезпека виробництва віскозного волокна

#### **16.1 Загальна характеристика пластичних мас**

Попередження надзвичайних ситуацій (НС) природного та техногенного характеру є актуальною проблемою сучасності. Застосування полімерних матеріалів (пластичних мас, пластмас) у народному господарстві забезпечує прогрес усіх галузей техніки. Полімери є заміниками кольорових металів, скла, шкіри, а також застосовуються як конструкційні, тепло- і звукоізоляційні, хімічно стійкі матеріали. В даний час світовий обсяг виробництва полімерів обчислюється десятками мільйонів тон. Найбільш поширені пластмаси – поліолефіни, полістирол, полівінілхлорид, феноло- і амінопласти. На їхню частку приходиться 1/3 світового виробництва полімерів. Таке широке використання пластмас обумовлене їх властивостями. Вони легкі, деякі з них мають велику міцність та корозостійкість тощо. Пластмаси мають теплопровідність приблизно у 70-200 разів меншу ніж сталь, тому їх використовують для теплоізоляції. Деякі пластмаси мають велику морозостійкість та теплостійкість, наприклад, фторопласти можуть витримувати нагрівання за температур від -260 °С до +260 °С. Мають пластмаси також добрі оптичні властивості. Проте пластмаси не позбавлені недоліків. Вони мають малу теплопровідність, незначну твердість, а також швидко «старіють».

*Пластичними масами* називаються матеріали, на основі природних або синтетичних високомолекулярних сполук (полімерів), що здатні під впливом нагрівання і тиску формуватися (набувати заданої форми) і зберігати її після охолодження та припинення дії зовнішньої сили. Крім полімерів до складу пластичних мас входять різні добавки: наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, барвники, отверджувачі, антипірени.

За складом пластмаси поділяються на прості та складні. Прості складаються лише з полімерів, наприклад, поліетилен, складні – багатокомпонентні, основою є полімер, допоміжні речовини – пластифікатори, барвники, наповнювачі тощо. Наприклад, текстоліт – основа фенолформальдегідна смола, наповнювач – тканина, гетинакс – основа фенолформальдегідна смола, наповнювач – папір.

За способом одержання пластичні маси поділяються на дві групи:

1) пластичні маси на основі полімерів, одержуваних реакціями полімеризації (поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП), полівінілхлорид (ПВХ), фторопласт).

2) пластичні маси на основі полімерів, які одержують реакціями поліконденсації (фенолформальдегідні, карбамідо- і меламіноформальдегідні полімери, поліефіри, поліаміди, епоксидні смоли, фенопласти). Обсяг виробництва поліконденсаційних пластмас збільшується, хоч частка їх у світовому виробництві зменшується. Причини цього – складність способів отримання сировини, мала технологічність (у порівнянні з полімеризаційними пластмасами), відсутність досконалої технології перероблення відходів тощо. Найширше застосовують фено- та амінопласти, що виробляють з фенолу, карбаміду, та інших альдегідів.

У залежності від поводження при нагріванні всі пластмаси поділяються на термопластичні (термопласти) і терморективні (реактопласти).

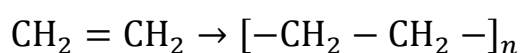
Термопласти при нагріванні розм'якшуються, а за звичайних умов знову переходять у твердий стан без зміни первинних властивостей. Цей процес оборотний, такі полімери здатні вторинно перероблятися. До них належать поліаміди, поліетилен, поліпропілен тощо.

Реактопласти при нагріванні або на холоді перетворюються у тверді неплавкі і нерозчинні матеріали (за рахунок структурних перетворень). В такому стані вони не здатні вторинно перероблятися. До них належать фенол формальдегіди, карбаміди тощо.

Пластмаси можна переробляти формуванням, екструзією, литтям під тиском.

Поліетилен (ПЕ) є одним з основних видів термопластів, що мають велике технічне значення. Це тверда, біла, масна на дотик речовина. Її переробляють у виробі екструзією (витискуванням), литтям під тиском, пресуванням, зварюванням та різанням. Висока механічна міцність, стійкість при низьких температурах (зберігає гнучкість при  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), відмінні електроізоляційні властивості і хімічна стійкість, вологостійкість, а також легкість переробки в різні виробі викликали бурхливе зростання виробництва поліетилену. Унаслідок водонепроникності та хімічної стійкості (до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) він стійкий до дії соляної кислоти, сірчаної, азотної, розчинів лугів і багатьох органічних розчинників. На повітрі ПЕ стійкий до температур  $+60 - -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У процесі нагрівання до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  ПЕ розплавляється і перетворюється на газ. Сировиною для виробництва ПЕ є етилен ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ).

Поліетилен одержують полімеризацією етилену:



етилен  $\rightarrow$  поліетилен

У промисловості полімеризація ПЕ виробляється трьома способами:

- 1) при високому тиску (поліетилен низької густини), ( $P=200\text{ МПа}$ ,  $t=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ініціатор);
- 2) при середньому тиску ( $P=3,5-4,0\text{ МПа}$ ,  $t=130-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ , розчинник);
- 3) при низькому тиску (ПЕ високої густини), ( $P=0,2-0,5\text{ МПа}$ ,  $t=50-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , каталізатор);

Таким чином, усі ці способи одержання ПЕ є пожежовибухонебезпечними, тому що вони зв'язані з обертанням великої кількості горючого газу і легкозаймистих рідин. Найбільшу пожежну небезпеку в пожежному відношенні представляють перший і третій способи виробництва ПЕ, що здійснюються при високому тиску в присутності металоорганічних каталізаторів і ініціаторів.

## 16.2 Виробництво поліетилену методом високого тиску

Поліетилен низької густини ( $0,92-0,93 \text{ г/см}^3$ ) одержують полімеризацією етилену безупинним методом при тиску 150-250 МПа і температурі 180-270 °С. Ініціаторами процесу є – кисень і органічні пероксиди. Процес, що протікає при високому тиску має ряд особливостей, що впливають на властивості ПЕ. Особливо істотно впливають домішки в етилені (ацетилен, бутадієн-1,3, сірководень і діоксид вуглецю), що можуть викликати побічні реакції або обривання ланцюга. Необхідно застосовувати чистий етилен з концентрацією не менш 99,90-99,99%. При одержанні ПЕ не весь етилен полімеризується і тому отриманий полімер треба відокремлювати від газу етилену, що не вступив до реакції. Газ після очищення необхідно знову направляти на стискання, а полімер – на обробку.

Полімеризація етилену протікає з виділенням великої кількості тепла, який необхідно відводити, тому що інакше може відбутися розкладання етилену і навіть вибух. Процес проводять у реакторах 2-х типів: у трубчастих змієвикових реакторах або в апаратах - автоклавах з мішалками.

Технологічний процес виробництва ПЕ методом високого тиску складається з наступних стадій:

- 1) змішування етилену з невеликою кількістю повітря;
- 2) стискання вихідної суміші, полімеризація етилену в трубчастих реакторах;
- 3) виділення полімеру;
- 4) гранулювання та вивантаження ПЕ.

Вихідна сировина – етилен, попередньо очищений від різних домішок, з газгольдеру подається в цех компресії під тиском 0,8-1,2 МПа. Сюди ж подається ініціатор – кисень повітря (0,002-0,006 %) від вихідного етилену. Етилен у суміші з повітрям піддається двокаскадному стиску в компресорах до 150-250 МПа. Компресором першого каскаду суміш стискають до 25-30 МПа і передають через холодильник та масловідділювач у компресори другого каскаду для стиску до 150-250 МПа. Після кожного ступеню стискання етилен проходить холодильники і масловідділювачі для відділення оливи. Для стиску етилену застосовуються багатоступінчасті компресори з водяними холодильниками, привод компресорів другого каскаду гідравлічний, олива застосовується індустріальна «20», що подається в компресор гвинтовими насосами.

Стиснутий етилен при 70 °С надходить у трубчастий реактор на полімеризацію.

Реактор являє собою зміювик, що складається з товстостінних нахиле-но розміщених труб, з'єднаних ретурбендами.

У реакторі маються три зони:

- перша зона – зона нагрівання етилену з 70 до 180 °С,
- друга – зона додаткового нагрівання і полімеризації етилену (при цьому температура підвищується до 240-270 °С);
- третя зона – зона охолодження. Надлишкове тепло відводять перегрітою до 220-225 °С водою, періодично знижуючи тиск у реакторі.

Ступінь конверсії етилену за цикл сягає 12-20%. На виході з реактору суміш разом з непрореагованим етиленом і побічними продуктами надходить у сепаратор високого тиску (25 МПа). Там відбувається поділ етилену і поліетилену при температурі не нижче 220 °С. Близько 95% поліетилену збирається в нижній частині апарата, а інші: рідкий поліетилен і розчинений у ньому етилен надходять у сепаратор низького тиску (0,15-0,60 МПа). Непрореагувавший етилен виділяють з поліетилену, проводять очищення і направляють знову на полімеризацію.

Поліетилен у виді розплаву надходить на грануляцію в екструдер, де його продавлюють через фільтри ріжуть обертовим ножом на гранули розміром 2,0-3,5 мм. Для запобігання злипанню гранул, їх прохолоджують водою. Потім гранули промивають водою на віброситі і підсушують теплим повітрям. Так, у 1987 р. у м. Томську на відкритій установці виробництва ПЕ високого тиску внаслідок аварійного руйнування трубопроводу протягом 3 с в атмосферу було викинуто 450 кг етилену. У результаті вибуху було руйнування на площі 3000 м<sup>2</sup>. Еквівалент вибуху – 650 кг тротилу. Причиною вибуху було зниження напруги в електромережі. Спочатку відкрилися запобіжні клапани реакторного блоку (тиск у реакторі 180 МПа, температура 288 °С, реактор – трубчастого типу). Подальше розслідування установило, що викидний трубопровід був забитий полімерами.

Для технологічного процесу одержання ПЕ високого тиску характерні пожежна та вибухонебезпека. Пожежна небезпека технологічного процесу стиснення етилену компресорами обумовлюється наявністю великої кількості горючих матеріалів – етилену, олив, гліцерину. Цех компресії за вибухопожежною та пожежною небезпекою відноситься до категорії «А».

Розглянемо пожежовибухонебезпечні властивості речовин, які обертаються в технологічному процесі.

*Етилен* – горючий, токсичний газ,  $\varphi_n=3\%$ ,  $\varphi_g=34\%$ ,  $T_{ccn.}=543$  °С. Етилен стійкий до 350-400 °С, вище цієї температури йде розкладання за реакцією.  $3C_2H_4 \rightarrow 2CH_4 + 2C_2H_2$ . При більш високих температурах розкладання йде до утворення вуглецю і водню за схемами:  $C_2H_4 \rightarrow C_2H_2 + H_2$ ,  $C_2H_4 \rightarrow 2C + 2H_2$ . Розкладання етилену супроводжується швидким наростанням тиску і температури.

*Олива «Індустріальна «20»* – горюча рідина,  $T_{cn.}=170$  °С,  $T_{самосн.}=320$  °С.

*Гліцерин* – горюча рідина,  $T_{cn.}=176,5$  °С,  $T_{самосн.}=393$  °С.

Процес стиснення етилену супроводжується розігрівом газу і конструктивних елементів компресору за рахунок виділення значної кількості тепла. Якщо надлишкове тепло не відводити вчасно, то це приведе до підвищення температури і тиску. При повній відсутності охолодження компресора температура газу після п'ятої ступені стиску може досягти 560 °С, тобто бути вище 543 °С (температури самоспалахування) і газ при виході самозаймається.

Причинами аварій і ушкоджень у цеху компресії газу можуть бути:

- перегрів газу при стисканні, що у свою чергу приводить до:
- підвищення тиску;
- вибуховому розкладанню етилену в циліндрах компресорів;
- заклинюванню поршнів у циліндрах;
- інтенсивному випаровуванню та розкладанню оливи та гліцерину, застосовуваного для змащення тертьових деталей компресора і для гідроуцілення штоків циліндрів (нагрівання оливи та гліцерину може досягати їхньої температури спалаху);
- наявність в етилені домішок ацетилену, що приводить до нагромадження зрідженого ацетилену в циліндрах компресорів, а при підвищенні температури і тиску – до вибухового розкладання ацетилену;
- порушення нормального дозування кисню в етилен, що приводить до утворення вибухонебезпечних сумішей у трубопроводах і компресорах (циліндрах);
- припинення подачі води на охолодження в результаті сильного забруднення відкладеннями теплообмінної поверхні холодильників;
- порушення герметичності апаратури і комунікацій, що приводить до великих викидів газів у виробничі приміщення й утворенню вибухонебезпечних сумішей з повітрям.

Вибухи етиленоповітряних сумішей мають велику руйнівну силу. Так, у квітні 1982 р. у м. Едмонт (Канада) відбувся витік етилену в приміщенні компресорної (близько 220-5000 кг етилену) у результаті розриву в арматурі приладу для виміру тиску, викликаного втомою металу. Цілком зруйнована будівля, уламки скла, що розлетілись при вибуху виявлені в радіусі 7 км. Еквівалент вибуху дорівнював 400-700 кг тротилу. Збиток склав 22 млн. дол.

При аваріях і пожежах у цеху компресії може виникнути смолоскипове горіння етилену, що виходить з апаратів або трубопроводів під великим тиском, має високу температуру і може викликати розрив трубопроводів, апаратів і т.д.

При нормальній роботі і дотриманні технологічного режиму процесу стиску етилену горюче середовище в технологічному устаткуванні не утворюється. Утворення вибухонебезпечних концентрацій горючого газу в робочій лінії і циліндрах компресора можливо в момент пуску компресорів після ремонту якщо у внутрішній об'єм компресора проникає повітря або інший окислювач.

Виробництва хімічної та нафтохімічної промисловості характеризуються великою кількістю різнорідних вибухонебезпечних процесів, безпечно



проведення яких залежить від технології, оснащення ефективними засобами контролю, регулювання та протиаварійного захисту. Одним із важливих питань діяльності підрозділів цивільного захисту є забезпечення безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, до яких відносяться і хімічні підприємства.

### 16.3 Класифікація хімічних волокон і способи їх одержання

Волокном називають тонку непрядену нитку рослинного, тваринного, мінерального або штучного чи синтетичного походження, придатну для виготовлення пряжі, текстильних та трикотажних виробів тощо. Волокно має велику довжину і малу товщину, є гнучким та міцним. Усі застосовувані в даний час волокна можна розділити на 2 класи : натуральні і хімічні (у залежності від їхнього походження). Природні волокна, чи натуральні підрозділяються на:

- білкові (тваринного походження)- вовна, шовк;
- целюлозні (рослинного походження)- бавовна, льон, джут, прядиво;
- силікатні (мінеральні) волокна (азбест, базальт).

Хімічні волокна. До 80-х років 19 ст. для виготовлення тканин та трикотажу використовували лише природні волокна: бавовняні, вовняні, шовкові, лляні, конопляні. У 1831 р. у м. Безансон (Франція) почав діяти перший у Світі завод хімічного волокна, на якому виробляли нітрошовк. З того часу випуск хімічних волокон постійно зростає і вже перевищив половину загального обсягу виробництва текстильних волокон. Насьогодні відомо 500 видів хімічних волокон, з них промисловість виробляє 40 видів. Хімічні волокна виробляють у вигляді моноволокон, комплексних ниток, штапельних волокон та джуту. Хімічні волокна підрозділяють на штучні і синтетичні й одержують їх із природних і синтетичних полімерів. Штучні волокна одержують хімічною переробкою природних високомолекулярних сполук – целюлози, білків. Синтетичні волокна одержують із синтетичних високомолекулярних сполук. Це поліамідні, поліакрілонітрильні, поліефірні, поліуретанові та полівінілхлоридні волокна.

Види хімічних волокон:

- штучні – на основі природних полімерів (целюлози, білків): мідноаміачні, ацетатні, віскозні та ін.
- синтетичні – на основі синтетичних полімерів: поліамід, поліакрілонітрил, політетрафторетилен, поліуретан, полівінілхлорид та ін.

Зі штучних волокон найбільше значення мають віскозне й ацетилцелюлозне волокно, із синтетичних – капрон, лавсан, нітрон. З усіх синтетичних волокон, що випускаються сьогодні, на частку поліамідних приходиться понад 50%: капрон (Росія), силон (Чехія), найлон-6 (США), дедерон (Німеччина). Велика увага приділяється виробництву синтетичних волокон, оскільки їх властивості кращі, а затрати праці при їх отриманні менші. Наприклад, стійкість автомобільних шин до стирання при заміні бавовняного каркаса на каркас із хімічних волокон підвищується більше ніж у 2 рази. На сьогодні всі

технічні тканини виготовляють тільки із синтетичних волокон. Особливо економічно вигідно використовувати синтетичні тканини у процесі виробництва фільтрів, пилоуловлювачів. Але синтетичні волокна менш гігієнічні, ніж штучні, не вбирають воду, електризуються, тому з них майже не виробляються тканини для пошиття натільної білизни.

Природних полімерів, придатних для одержання хімічних волокон дуже небагато. Це целюлоза (бавовняна чи деревна) і білок (казеїн і зеїн). Промислове значення має тільки целюлоза. Весь технологічний процес одержання хімічних волокон в залежності від виду використовуваної вихідної сировини можна розділити на чотири стадії.

*Перша стадія* – одержання вихідної сировини, придатної для виробництва хімічних волокон. Для штучних волокон – виробництво целюлози. Для синтетичних волокон ця стадія полягає в синтезі вихідного полімеру з мономера.

*Друга стадія* – приготування прядильного розчину або розплаву для формування волокна (тому що одержати волокно безпосередньо з твердого полімеру практично неможливо). У процесі використовують органічні (ацетон, етиловий спирт тощо) та неорганічні розчинники. Для поліпшення властивостей прядильної маси та якості волокон до прядильної маси додають поверхнево-активні речовини (ПАР), барвники тощо. Отриману рідинну масу дегазують, фільтрують і подають на формування волокна (прядіння).

*Третя стадія* – формування волокна (раніше називалося прядінням) є найбільш відповідальною при виробництві хімічних волокон. Ця стадія полягає в тому, що прядильний розчин або розплав полімеру продавлюється через філь'єру з отворами, діаметр яких 40-900 мкм у залежності від способу формування. Найтонші струмки прядильного розчину коагулюють (переводять в твердий стан) в осаджувальній ванні (спосіб мокрого формування з розчину), чи твердіють після випару розчинників (спосіб сухого формування з розчину), або твердіють на повітрі, переходячи з розплавленого стану у твердий (спосіб формування з розплаву) і перетворюються в окремі елементарні нитки. Додатково зміцнюють волокна, накручуванням їх на ролики, бобіни тощо. У процесі формування та натягування при накручуванні лінійні макромолекули впорядковуються вздовж осі волокна, що підвищує його міцність. Потім із волокон виготовляють нитки скручуванням або ріжуть на відрізки довжиною 130-150 мм.

*Четверта стадія* – полягає в проведенні різних хімічних і механічних операцій, яким піддають нитку для обробки і надання їй визначених властивостей.

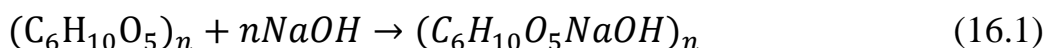
Одним із найбільш пожежонебезпечних виробництв хімічних волокон є виробництво віскозного волокна. Віскоза – від лат. «viscosus» – клейкий, в'язкий. Основною сировиною для виробництва віскози є целюлоза (клітковина), яка надходить на заводи штучного волокна у вигляді картону. Віскозне волокно не розчиняється в органічних розчинниках, має порівняно велику міцність та витримує нагрівання до 100-120 °С. Проте воно не стійке в лугах і в разі зволоження наполовину втрачає міцність. Із віскозного волокна вироб-

ляють шовк, корд, целофан, каракуль тощо. Розглянемо технологічний процес виробництва віскозного волокна, що складається з наступних операцій:

- одержанні лужної целюлози шляхом хімічної обробки целюлози;
- одержанні ксантогената целюлози;
- одержанні прядильного розчину віскози;
- очищення віскози від механічних домішок і повітря;
- формування волокна;
- обробка волокна.

Целюлоза у виді волокнистої маси або листів (5-6% вологості) зі складу надходить у хімічний цех. Для підвищення рівномірності обробки її перемішують, ріжуть і гофрують. Отримання лужної целюлози полягає в обробці целюлози великим надлишком 18%-вого розчину їдкого натру з наступним віджимом целюлози від надлишку лужного розчину. Мерсеризація (походить від прізвища англійського вченого Дж. Мерсера) проходить в агрегаті-мерсеризаторі при температурі 60-70 °С.

При періодичній обробці застосовуються ванни-преси з віджимним пристроєм. У них завантажують целюлозу, заливають 18%-вим розчином лугу і витримують протягом 1 години. Утворюється лужна целюлоза:



Безупинний процес одержання лужної целюлози здійснюється у вертикальних барабанах з мішалкою з наступним віджимом на фільтрах. Потім целюлозу подрібнюють у спеціальних апаратах-подрібнювачах для прискорення наступного процесу обробки алкілцелюлози. Після витримання лужної целюлози протягом визначеного часу при постійній температурі (25-26 °С) (відбувається зниження молекулярної ваги) її стрічковим транспортером подають у цех ксантогенування, на наступну стадію. По закінченні процесу виспівання, лужна целюлоза піддається обробці сірковуглецем. При взаємодії сірковуглецю з целюлозою утворюється ксантогенат целюлози – складний ефір целюлози та дітіовугільної кислоти.

Ксантогенування проводиться при температурі 28-32 °С, протягом 1-2,5 год. Реакція супроводжується виділенням тепла. Для регулювання температури апарати ксантогенування постачають системою для охолодження. Основними параметрами, що визначають ступінь утворення ксантогената целюлози, є тривалість процесу, температура, кількість витрати  $CS_2$  (сірковуглець) і ступінь віджиму лужної целюлози. Закінчення ксантогенування визначають по зміні тиску в апараті.

Перед реакцією в апараті створюють вакуум у межах 0,053-0,066 МПа. Після впуску  $CS_2$  у результаті його випаровування створюється підвищений тиск. При підвищенні температури значно зростає швидкість ксантогенування. Враховуючи екзотермічність реакції ксантогенування, температурний режим звичайно вибирають таким чином, щоб кінцева температура була вище початкової на 5-7 °С, тому що при підвищених температурах йдуть побічні

процеси. Кількість  $CS_2$ , що подається в ксантогенатор, визначається видом вироблюваного вихідного волокна. При одержанні віскозних ниток і волокна звичайно витрачається 32-36%  $CS_2$  від маси вихідної целюлози, а для одержання високоміцних ниток – 40-43%. Враховуючи те, що  $CS_2$  є основною причиною небезпеки віскозного виробництва, зниженню кількості  $CS_2$  при ксантогенуванні надається особлива увага.

Для ксантогенування застосовують апарати різної конструкції. По найбільш старому технологічному процесу, ксантогенування проводять у ксантат-барабанах, де здійснюється тільки процес ксантогенування й отриманий ксантогенат вивантажують вручну. В даний час для ксантогенування найчастіше застосовуються одномішалочні ксантогенатори найпростішої конструкції і вакуум-ксантат-мішалки.

Ксантогенування в апараті продовжується 90 хв. Для видалення парів  $CS_2$  з апарата за 5 хв. до кінця процесу його продувають за допомогою спеціального вентилятора протягом 1-2 хв. і вводять 85% усіх складових, потім усю масу передають через центрифугальний апарат-розтирач для дорозчинення. Для видалення залишків ксантогената апарат промивають лугом.

Таким чином, загальний цикл роботи ксантогенатору включає наступні етапи:

- завантаження лужної целюлози;
- продувка азотом;
- створення розрідження в апараті (0,053-0,066 МПа);
- подача сірковуглецю;
- ксантогенування;
- добавка лугу;
- вивантаження апарату;
- промивання апарату.

В апаратах ксантогенування здійснюється часткове розчинення ксантогенату в лузі, після чого продукт по закритій системі трубопроводу подається в спеціальні апарати-дорозчинювачі. Розчинники та дорозчинники представляють собою вертикальні і горизонтальні баки, обладнані мішалкою і системою охолодження, тому що при підвищеній температурі погіршується розчинення ксантогената в лузі (розчинення йде при температурі 5-7 °С). Після розчинення продукту отриману віскозу витримують якийсь час у баках при постійній температурі 14-16 °С (дозрівання віскози). Далі віскозу змішують у баках-змішувачах, обладнаних мішалками, фільтрують через тканину на фільтр-пресах, до яких вона подається під тиском 5-10  $10^5$  Па. Після фільтрації її витримують під вакуумом для видалення повітря, далі подають по трубопроводах до прядильних машин.

Формування волокна полягає в тім, що прядильний розчин видавлюється у виді тонких безперервних струмків в осаджувальну ванну, в якій проходить коагуляція віскози і розкладання ксантогенату з виділенням целюлози, з якої утворюється волокно. Цей технологічний процес здійснюється на спеціальних прядильних машинах мокрим способом. Перед прядінням у прядиль-

ному апараті розчин фільтрують і протискують крізь отвори філь'єри у ванну, в якій міститься розчин сірчаної кислоти, сульфату натрію та сільфату цинку, нагрітий до 45-48 °С. Філь'єри виготовляють із корозієстійких сплавів благородних металів (платини з золотом або іридієм) чи з танталу. Філь'єри мають від 24 до 3200 отворів. Кількість отворів та їх діаметр залежить від типу волокна. Цівки віскози, які протискуються у ванну коагулюються: сірчана кислота нейтралізує невикористаний луг і розкладає ксантогенат целюлози. Регенеровану целюлозу у вигляді волокон намотують на котушки. Швидкість формування волокна становить 0,75-1,16 м/с. Розчин з ванни подають на регенерацію сірковуглецю, їдкого натру та сірчаної кислоти.

В процесі прядіння віскозного волокна з розчину виділяється сірководень та сірковуглець, які є шкідливими та вибухонебезпечними. Щоб запобігти цьому прядильні апарати ущільнюють та обладнують вентиляцією. На виході з вентиляції повітря очищується.

#### 16.4 Техногенна небезпека виробництва віскозного волокна

Процес виробництва штучних волокон пожежо- і вибухонебезпечний, тому що пов'язаний з використанням значної кількості легкозаймистих речовин. Пожежна небезпека виробництва віскозного волокна обумовлюється фізико-хімічними і пожежовибухонебезпечними властивостями речовин, які обертаються в технологічному процесі, їхньою кількістю, режимом роботи технологічного устаткування, можливістю утворення горючого середовища, як при нормальній роботі, так і при виникненні аварійних ситуацій, появою джерел запалювання та наявністю шляхів поширення пожежі.

Так, у технологічному процесі отримання віскози до основних видів сировини відносяться: целюлоза, їдкий натр, сірковуглець, сірчана кислота.

Целюлоза – природна високомолекулярна органічна сполука, що відноситься до класу вуглеводів. Молекула целюлози – полімер, складається з дуже великої кількості елементарних ланок  $C_6H_{10}O_5$ . У виробництві віскозних волокон застосовується в основному сульфатна і сульфідна деревна целюлоза (може використовуватися і целюлоза із соломи й очерету). Целюлоза – є горючим матеріалом, на складі й у відділенні підготовки знаходиться в купах, у виді розпушеної волокнистої маси або в листах. Величина  $T_{ссп.}$  для деревної целюлози становить 360 °С, теплота згоряння перевищує 4000 ккал/кг, вагова швидкість горіння целюлози в листах складає 1,22 кг/м<sup>2</sup>·хв. Горіння целюлози в умовах недостатнього надходження повітря приводить до сильного задимлення виробничих приміщень. Пил целюлози легко спалахує і швидко горить.

Сірковуглець ( $CS_2$ ) – легколетюча рухлива, сильноотруйна рідина з неприємним запахом,  $T_{кип.} = 46,1$  °С, у воді не розчиняється, пари  $CS_2$  у 2,63 рази важчі повітря, гарний діелектрик, одна з найбільш пожежонебезпечних рідин,  $T_{самосп.} = 102$  °С,  $T_{ссп.} = -43$  °С,  $T_{н.} = -50$  °С,  $T_{г.} = 26$  °С. Нижня концентраційна межа поширення полум'я суміші парів сірковуглецю з повітрям складає 1% (об.), верхня - 50% (об.). Спалахування сірковуглецю може бути викликане іскрою,

що виникла при ударі металу об метал, цигаркою. За певних умов може відбутися вибух завдяки нагріванню  $CS_2$  сонячними променями і навіть гарячою водою. У промисловості  $CS_2$  одержують із природного газу метану й сірки. Сірковуглець доставляється в залізничних цистернах, заповнених на 90% для зменшення випаровування  $CS_2$ , у літню пору додається 5% води від загального об'єму тари. Зберігається в наземних, підземних або напівпідземних складах, у баках під шаром води або інертного газу. У цех подається по трубах під тиском води або інертного газу, що не повинний містити більш 0,2%  $O_2$ . Перекачувати  $CS_2$  можна так само спеціальними заглибними насосами. Під час використання сірковуглецю в технологічному процесі необхідно дотримуватись певних правил. Так, температура нагрітих поверхонь (радіатори опалювальної системи, трубопроводи) не повинна перевищувати 70 °С, після спорожнювання бочок, цистерн і інших судин їх необхідно промити для видалення слідів  $CS_2$ . Спостерігалися вибухи непромитих бочок з-під  $CS_2$  під дією сонячних променів та у результаті випадкового удару.

Сірчана кислота ( $H_2SO_4$ ) – безбарвна масляниста рідина, практично не замерзає навіть при температурі -30 °С. Надходить на заводи в залізничних цистернах і зливається в сталеві баки великої ємності, у виробництво подається по трубах відцентровими насосами, негорюча пожежонебезпечна рідина,  $T_{кин}=330$  °С викликає розчинення металів з виділенням водню, самозаймання горючих речовин. Натрію гідроксид ( $NaOH$ ) (18%) – є негорючою речовиною, але відноситься до їдких сполук, спричиняє корозію металів.

Процеси одержання лужної целюлози не є пожежонебезпечними, тому виробничі приміщення відносяться до категорії «Д». Однак процеси підготовки целюлози до мерсеризації, що полягають у її подрібненні, становлять пожежну небезпеку, що полягає в наступному:

Зберігання на складі й у відділенні підготовки целюлози великої кількості целюлози в купах, у виді розпушеної волокнистої маси або в листах.

Різання листів целюлози на верстатах, що мають систему ножів, установлених на обертовому барабані, супроводжується виділенням великої кількості целюлозного пилу, що осідає на технологічному устаткуванні й електроустаткуванні. Великі скупчення целюлозного пилу викликають запылення виробничих приміщень і створюють підвищену пожежну небезпеку, тому що целюлозний пил легко спалахує і швидко горить, а за певних умов переходить у зважений стан, утворюючи вибухонебезпечні суміші. Робота різальних верстатів може супроводжуватися утворенням іскор при неправильному налагодженні верстатів, а також перегрівом підшипників, які забруднюються целюлозним пилом.

Крім того в цехах одержання лужної целюлози можливі іскри при несправності електроустаткування, при ударах і терті, при проведенні зварювальних робіт, при самозайманні целюлозного волокна оливами. Пожежа в приміщеннях підготовки целюлози і її мерсеризації може поширюватися насамперед по скупченню і місцям відкладень целюлозного пилу у виробничому приміщенні, по місцях розливу олив, по технологічному устаткуванню, по

вентиляційним та відсмоктуючим пристроям, по технологічних прорізах, будівельним конструкціям та ін.

Основні заходи безпеки: регулярне прибирання приміщень від пилу; зволоження приміщень, своєчасне збирання місць витoku олив, регулярне змащення обертових деталей верстатів, перевірка правильності регулювання зазору між ножами; контроль температури підшипників, своєчасна заміна відпрацьованих олив; справність електроустаткування, дотримання правил пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт, ізоляція приміщення для різання целюлози від основних приміщень протипожежною стіною, своєчасне збирання виробничих приміщень від відкладень пилу, збирання виробничих приміщень від скупчення відходів целюлози, склади целюлози і відділення підготовки необхідно обладнувати спринклерною системою.

Пожежна небезпека цеху ксантогенування визначається наявністю великої кількості ЛЗР –  $CS_2$  (у ксантогенаторах, мірниках, трубопроводах), витрата якого складає 35-37% від маси целюлози, режимом роботи ксантогенатора, умовами утворення горючого середовища в апаратах при їхній нормальній роботі, у періоди пуску і зупинки, при ушкодженнях і руйнуванні, можливістю виникнення джерел запалювання, і наявності шляхів поширення пожежі. Цех ксантогенування відноситься до категорії «А» за вибухопожежною та пожежною небезпекою, тому що температура спалаху  $CS_2$  нижче 28 °С. Порівнюючи робочу температуру (28-32 °С) у реакторі (ксантогенаторі) зі значеннями температурних меж поширення полум'я ( $T_n = -50$  °С,  $T_g = 26$  °С) сірковуглецю, можна зробити висновок, що горюче середовище парів сірковуглецю в суміші з повітрям може утворитися і в період нормальної його роботи за умов підсмоктування повітря в апарат, яке може бути при: подачі вакууму в апарат перед ксантогенуванням, якщо є нещільності в системі (наявності неякісних прокладок між кришкою апарату і корпусом, ослаблення фланцевих з'єднань і сальників); при завантаженні апарату; при вивантаженні продукту з апарату через відкриті люки.

Найбільшу пожежну небезпеку представляє операція подачі сірковуглецю в апарат, тому що при заливанні  $CS_2$  в апаратах (мірниках) з температурою в межах спалахування (-50...+26 °С), може утворитися вибухонебезпечна суміш. Небезпека утворення горючої суміші у виробничих приміщеннях виникає в періоди пуску і зупинки реакторів, якщо завантаження і вивантаження в них здійснюють відкритим способом. Утворення вибухонебезпечних концентрацій сірковуглецю біля апаратів при виході його назовні з апаратів обумовлюється фізико-хімічними властивостями  $CS_2$  (пари сірковуглецю важчі повітря і при відсутності вентиляції не можуть швидко розсіюватися). Причинами ушкодження і руйнування ксантогенаторів є підвищення тиску в апараті (при порушенні матеріального балансу, підвищенні температури), хімічна корозія (відкладення сірчистих сполук заліза та ін.), ерозія. Так, на одному з заводів при роботі вакуум-ксантат-змішувача відбувся вибух парів  $CS_2$ , що потрапили з апарата через сальник у корпус редуктора. При переключенні мішалки на підвищені обороти валу в одній із шестірень редуктора ви-

кришилась частина зуба, що привело до утворення іскор і спалахуванню суміші. Вибухом редуктор був зруйнований.

Розглянемо основні заходи попередження небезпек виникнення аварій при ксантогенуванні. Процес ксантогенування на всіх стадіях проводять в середовищі інертного газу (азоту). Для запобігання виходу парів  $CS_2$  з апарата в приміщення при проектуванні передбачають укриття апарата металевим кожухом з відводом парів через місцевий відсмоктувач, розташований у нижній частині кожуха. Щоб уникнути наявності вибухових сумішей необхідно здійснювати відсмоктування повітря і парів  $CS_2$  (перед завантаженням його в апарати, відбиранні проб і вивантаженні ксантогенату). Відсмоктувачі забезпечують створенням вакууму через вакуумну лінію, роботу вакуум насоса автоматизують. Необхідно контролювати тиск, температуру. Захист внутрішньої поверхні апаратів і трубопроводів від корозії забезпечується оцинковуванням (епоксидні смоли), продувати апарати інертним газом, після очистки апарати заповнюють водою або лугом, необхідна наявність припливно-витяжної вентиляції з 10-ти кратним обміном повітря. Для попередження потрапляння в апарат металевих предметів необхідно встановлювати магнітні сепаратори, що забезпечують 100% вилучення металу із целюлози перед її загрузкою, контроль вмісту сірководню у виробничих приміщеннях з використанням газоаналізаторів.

Процес формування волокна з віскозного розчину супроводжується з виділенням  $CS_2$  і сірководню поблизу робочих місць прядильних машин. Сірчана кислота застосовується для осадження ксантогенату з розчину й омилення. Щоб уникнути виділення цих речовин у приміщення цеху, передбачається укриття прядильних машин, з-під яких здійснюється відсмоктування газів. Утворення вибухових концентрацій у прядильних цехах неможливо. Для забезпечення безпечного режиму роботи прядильних цехів прядильні машини обладнують системою автоматичної витяжної вентиляції.

Приміщення цеху обробки волокна, технологія якого зв'язана з застосуванням води і негорючих водних розчинів, є непожежонебезпечною і відноситься до категорії «Д».

Пожежна небезпека процесу сушіння віскозного волокна визначається наявністю великої кількості горючого волокна, що зосереджується на порівняно невеликій площі сушарки (до 10 тон), віскозне волокно при 170-200°C розкладається  $T_{спалах}=235^\circ C$ ,  $T_{самоспалах}=460^\circ C$ . Джерелами запалювання при сушінні волокна можуть бути нагріті поверхні систем обігріву, іскріння при несправності вентиляторів, несправність електроустаткування і ін. Поверхні калориферів нагріваються до 140-160°C.

Пожежна небезпека обумовлюється значною кількістю машинної оливи з  $T_{сн}=181-200^\circ C$ , що застосовується для змащення підшипників і замаслювання волокна.

**Висновки.** Виробництво поліетилену методом високого тиску є пожежовибухонебезпечним процесом, тому що зв'язано з обертанням великої кількості горючого газу і ЛЗР, а також застосуванням високих температур та



тиску. Тому розробка комплексу пожежно-профілактичних заходів має важливе значення в забезпеченні пожежної безпеки важливого і поширеного виробництва полімерних матеріалів.

Процес виробництва штучних волокон, і зокрема, віскозного волокна є пожежовибухонебезпечний і вимагає постійної уваги, що полягає в розробці та впровадженню систем запобігання пожежі та протипожежного захисту.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що представляють собою пластичні маси? Назвіть їхні властивості.
2. Як класифікуються пластмаси?
3. Назвіть основні фізико-хімічні властивості поліетилену високого тиску та основні стадії його отримання.
4. В чому полягає техногенна небезпека отримання поліетилену високого тиску?
5. Які ви знаєте види волокон?
6. Назвіть основні етапи отримання на виробництві хімічних волокон.
7. Як у промисловості отримують віскозне волокно? В чому полягає небезпека проведення такого процесу?
8. Які характерні небезпеки утворюються при виконанні технологічного процесу отримання віскозного волокна? Назвіть заходи попередження.

### **Рекомендована література**

1. НПАОП 0.00-1.41-88 Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств.
2. Наказ від 26.09.2018 № 491 Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України.
3. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: підруч. для студ. вищ. навч. закл. Ін-т інновац. технологій і змісту освіти М-ва освіти і науки України. Л.: Растр-7, 2007. 376 с.
4. Савченко І.О., Сиромятніков В.Г. Промислові полімери: навч. посіб. Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. К.: Київ. ун-т, 2012. 111 с.

## ЛЕКЦІЯ 17

### ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА КОКСОХІМІЧНИХ ЗАВОДІВ

#### ПЛАН

- 17.1. Основи технології коксохімічного виробництва
- 17.2. Загальна оцінка небезпеки коксохімічних заводів

#### 17.1 Основи технології коксохімічного виробництва

Одним з найбільш поширених виробництв в Україні є коксохімічне виробництво, продукція якого дуже широко застосовується не тільки в нашій країні, але і за кордоном. Тільки в країнах Західної Європи потреба в фенолі, як основному продукті коксохімічного виробництва, перевищує 1 млн. тон/рік. При переробці 1 тони коксуємого вугілля на кокс можна виділити близько 70 кг фенолу.

Сировиною для коксохімічних виробництв є вугілля – тверда горюча копалина органічного походження, що утворилася внаслідок відмирання рослин та планктонів в результаті життєдіяльності мікроорганізмів. Вугілля є дешевшим за нафту, воно більш рівномірно розподілене в земній корі. Його земні запаси набагато перевищують запаси нафти і за прогнозами вчених не будуть ще вичерпані протягом століття. Вугілля у вигляді гірської породи вміщує дуже мало вільного вуглецю (10% в кам'яному вугіллі, декілька відсотків у бурому). В основному корисні вугілля складаються з складних циклічних органічних сполук, що вміщують елементи вуглецю (C), гідрогену (H), азоту (N), сірки (S), домішок неорганічних речовин (зола) та вологи; вміст золи та вологи може бути до 50% та більше. Утворення вугілля з рослинних залишків в результаті їх біохімічного розкладання без доступу повітря проходить через стадію вуглефікації: торф, буре вугілля – кам'яне вугілля – антрацит. Перехід бурого вугілля в кам'яне проходить тільки під впливом підвищених температур та тиску. Вугілля широко застосовують як паливо, воно служить також вихідною сировиною для отримання різних хімічних продуктів. Характерним для горючих копалин є співвідношення C/H, за яким можна отримувати знання про будову органічних сполук, що входять до складу горючих копалин. За даними елементного аналізу, співвідношення C/H для нафти складає в середньому 6,5; для вугілля від 8,5 до 32.

Всі основні продукти, що виробляються сьогодні з нафти можна виробляти і з вугілля, тим більше, що воно до початку 1920 років було основним джерелом сировини для хімічної промисловості. Так названі «смоляні фарби» (алізаринові, азофарби, індантренові тощо) і сьогодні виготовляють на основі бензолу, нафталіну, антрацену, які раніше одержували тільки з кам'яновугільної смоли, а пізніше – з сирого бензолу коксохімічних заводів (КХЗ). На основі хімії барвників були створені виробництва фармацевтичних препаратів та засобів захисту рослин, інші галузі промисловості органічного синтезу. З коксового газу виділяли аміак, який йшов на виробництво мінеральних добрив. Водень для синтетичного аміаку також одержували газифікацією

вугілля або коксу. Галузі вуглехімії засновувались на кальцію карбіді та ацетилену, а також на синтез-газі, з якого одержували вуглеводні або метанол.

Сьогодні при вирішенні задач народного господарства України важливу роль відіграє коксохімічна галузь, що є сировинною базою для розвитку чорної металургії, а також для виробництва мінеральних добрив, пластичних мас, хімічних волокон тощо. Шляхом коксування здійснюється хімічна переробка кам'яного вугілля, в результаті якої поряд з коксом одержують висококалорійний газ, що вміщує різноманітні хімічні продукти. Коксохімічне виробництво являє собою складний комплекс технологічних процесів, що характеризуються безперервністю, повною взаємозалежністю, різноманіттям випускаючої продукції та великим вантажопотоком. Коксохімічне виробництво насичене великою кількістю апаратів, комунікацій з пожежовибухонебезпечними середовищами, про що свідчать статистичні дані про пожежі та вибухи на цих об'єктах.

Розвиток хімічної промисловості почався з процесу термічної обробки вугілля, а існуючі сьогодні процеси переробки твердих горючих копалин дозволяють отримувати з них різноманітні продукти.

*Основні виробничі відділення на коксохімічному підприємстві.*

1. Цехи вуглепідготовки (прийомка, дозування, подрібнення шихти), основне обладнання – вагоноперекидач, конвеєр, дозатор, стрічковий дозатор, бункера.

2. Коксовий цех (коксіві батареї, що об'єднані в блоки, вугільна башта, гасильна башта з насосною та відстійниками, рампа, коксові машини для сортування вугілля).

3. Цехи уловлювання хімічних продуктів коксування – входять: відділення конденсації, аміачно-сульфатне, відділення кінцевого охолодження коксового газу та уловлювання сірководню і бензолу, сірчанокислотне, дистиляції бензолу. Основне обладнання – абсорбери, аміачні колони, скрубери для видалення фенолу, газові холодильники, конденсатори-холодильники, теплообмінники, регенератори, бензолні скрубери тощо.

4. Смолоперегінний цех (склад смоли та олив, відділення дистиляції смоли, пеків парк), основне обладнання – трубчасті агрегати продуктивністю по 50 тис. тон смоли в рік, пеківі колони, фракційні колони, куби-реактори, теплообмінні апарати, ємності).

5. Цех ректифікації сирого бензолу (колони попередньої ректифікації з ковпачковими тарілками, куби для ректифікації).

Основними методами переробки вугілля є суха перегонка та газифікація.

Газифікація – це перетворення органічної частини вугілля в горючі гази при високотемпературній (1100-2000 °С) взаємодії його з окисниками (кисень, повітря, водяна пар, діоксид вуглецю). При цьому вугілля майже повністю переходить у генераторний та водяні гази (твердий залишок – зола). Газифікація проходить в газогенераторах: через шар коксу (товщиною 3 м) знизу вверх періодично подається повітря та водяна пара.

*Зупинимося більш детально на сухій перегонці вугілля.*

Суха перегонка вугілля полягає в його хімічному розкладанні при нагріванні без доступу повітря. Розрізняють два варіанти сухої перегонки вугілля – напівкоксування (швелевання) та коксування.

Головною задачею напівкоксування – одержання рідких вуглеводнів (бензину); попутно утворюється напівкокс та суміш газів ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  та ін.). Напівкокс не можливо використовувати в металургії, його використовують в одержанні кальцію карбїду та для газифікації вугілля. Температура проведення напівкоксування не повинна перевищувати  $550\text{ }^\circ\text{C}$ , так як при більш високій температурі вихід рідких вуглеводнів зменшується. З 1 тони кам'яного вугілля отримують  $110\text{ м}^3$  газу, 750-800 кг напівкоксу та 8 кг смоли й дьогтю. Напівкоксування бурого вугілля проводять з метою одержання дьогтю. Вугілля нагрівають розігрітими газами у режимі протитоку до  $600\text{-}700\text{ }^\circ\text{C}$ . Основними продуктами напівкоксування бурого вугілля є напівкоксний газ (для нагрівання печей); буровугільний дьоготь (для виробництва алканів); легке масло (вміщує бензин низької якості, використовується як розчинник змащувачів, як моторне паливо; середнє масло, вміщує фенол, як дизельне паливо; важке масло, з нього виділяють парафін; буровугільний кокс, підсмольна вода.

Коксування кам'яного вугілля має велике промислове значення. Що ж таке коксування? Коксування – процес перетворення природного палива, головним чином, кам'яного вугілля, на кокс (від англ. *coke* – тверда, міцна, пориста маса) та іншу цінну продукцію нагріванням у печах за високих температур без доступу повітря. Вперше коксування кам'яного вугілля здійснено в 1709 році англійцем Дербі. З того часу його постійно вдосконалюють, а продукцію, отриману в процесі коксування, використовують все ширше. Спочатку вугілля коксували для отримання коксу та світільного газу, який після очищення від кам'яновугільної смоли використовували для освітлення та опалення. Лише у другій половині ІХХ ст. кам'яновугільна смола з небажаного баласту перетворилась на цінну сировину для отримання багатьох органічних речовин. Для коксування беруть суміш вугілля різних видів з таким розрахунком, щоб у процесі коксування утворилася достатня кількість летких речовин, а металургійний кокс мав певну пористість та міцність. Процес коксування здійснюється на коксохімічних заводах, де переробляється жирне вугілля (з виходом летких речовин 10-30 % та на газових заводах, де переробляють газове вугілля з виходом летких речовин 35-40 %).

*Основні продукти коксування кам'яного вугілля:*

1) коксовий газ, з якого шляхом контакту з іншими продуктом, кам'яновугільною смолою, одержують технічний бензол – рідку суміш легкокиплячих аренів;

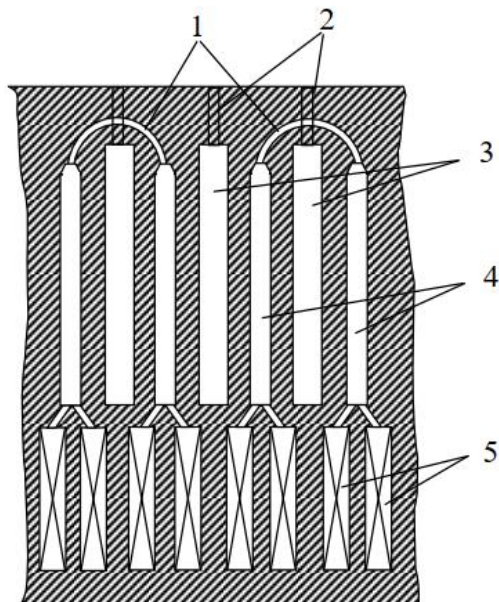
2) надсмольна вода – з неї шляхом обробки вапняним молоком вилучають аміак;

3) кам'яновугільну смолу розділяють шляхом перегонки на арени, феноли, похідні піридину, які є цінними продуктами для виробництва барвників, розчинників, вибухових речовин, лікарських та духмяних препаратів, пе-

стицидів тощо. Кубовий залишок перегонки смоли – кам'яновугільний пек – використовується для виготовлення асфальту та ущільнюючих засобів;

4) кокс, отриманий з жирного вугілля, використовується в металургії, а одержаний з газового вугілля застосовується як паливо та у виробництві синтез-газу та кальцію карбїду.

Процес коксування проводять в камерних печах, що обігріваються через стінку топковими газами. З метою більш рівномірного нагрівання шихти камери виконують достатньо вузькими (400-450 мм) і розташовують декілька десятків таких камер паралельно одна до одної. Таким чином утворюється коксова батарея, в якій між кожною парою камер є нагрівальні простінки для руху гарячих топкових газів. Для підвищення економічності коксових печей дуже важливо повніше використовувати тепло топкових газів. Тому в печах влаштовують спеціальні регенератори, розташовані безпосередньо під камерами. В них гарячий топковий газ нагріває насадку з вогнетривкої цегли, а за рахунок тепла насадки підігрівається повітря та топковий газ, що надходить на спалювання.



**Рисунок 17.1 – Схема коксової печі**

1 - перекидні канали; 2 - стояки;  
3 - коксові камери; 4 - обігрівальні простінки; 5 - регенератори

Коксова піч (рис. 17.1) має ряд паралельних коксових камер 3 висотою 4,3 м та довжиною близько 14 м. Нагрівальні простінки виконані у вигляді вертикальних ходів та сполучені одним перекидним каналами. У кожного нагрівального простінка є два регенератори: один для повітря, інший для паливного газу. Нагріті гарячою насадкою повітря та паливний газ згорають у нижній частині вертикальних ходів, а газ, що утворюється, рухається нагору та по перекидному каналу поступають до сусіднього простінку, по якому опускаються вниз. В регенераторах газ нагрівають насадку і по загальному борову відводяться з коксової печі. Після охолодження першої регенераторів потік газів переключають на зворотній і т.д. Леткі продукти відводять з коксових камер по стоякам.

Шихту в камери завантажують зверху за допомогою спеціальних вагонеток, а кокс розвантажують з печі за допомогою коксовиштовхувальних машин. Коксова піч являє собою камеру, що викладена з вогнетривкої цегли. Довжина печі-камери (12-13 м) визначається потужністю коксовиштовхувальної машини, висота (4-4,3 м) – можливістю рівномірного нагрівання вугілля, ширина – не перевищує 0,4 м. Місткість камер 15-28 тон.

Процес коксування починається за температури понад 100 °С. У процесі нагрівання вугілля до температури 200 °С випаровується вода та виходять гази  $CO_2$  та  $CH_4$ . У разі подальшого нагрівання до 350 °С починають розкладатися органічні речовини з виділенням  $CO$ ,  $H_2O$  та інших сполук. Подальше підвищення температури спричиняє перехід вугільної маси у пластичний стан і виділення кам'яновугільної смоли. За температури 600 °С утворюється напівкокс. У межах температур 600-1100 °С напівкокс перетворюється в кокс. Вугілля нагрівають до температури 1400 °С протягом 14-16 годин. За цей час утвориться кокс. Після закінчення коксування кокс виштовхують із печі коксовиштовхувачем 4, розжарений кокс потрапляє до вагона, а звідси – до гасильної башти, де охолоджується водою. Застосовують також сухе гасіння коксу. Охолоджений кокс сортують за розмірами. Металургійним коксом є куски розмірами 25-40 мм.

Якість коксу залежить від вмісту у вугіллі маслянистого та твердого бітумів. Завдяки бітумам маса вугілля спочатку стає пластичною, а потім пористою. Вміст у вугіллі мінеральних домішок погіршує якість коксу і негативно впливає на чавуноваріння, адже кокс є одним із основних видів палива у процесі виробництва чавуну. Тому вугілля перед коксуванням збагачують. Мінеральні домішки повністю залишаються в коксі й зумовлюють збільшення в шихті кількості флюсів. Крім того, великий вміст у коксі речовин, які в процесі згоряння утворюють жужелицю (шлак), зменшує його міцність.

Найбільш шкідливою домішкою у вугіллі є сірка, оскільки частина її залишається в коксі, а частина виноситься разом із коксовим газом. Збільшення вмісту сірки у коксі на 1% спричиняє збільшення в доменній шихті вмісту флюсів на 10-20% і зменшення продуктивності печі на 20-30%. Тому вугілля, яке містить велику кількість сірки, збагачують флотаційним способом, що зменшує вміст сірки на 15-20%. В коксову піч завантажують подрібнене (розмір кусків не менш за 3 мм) і збагачене вугілля.

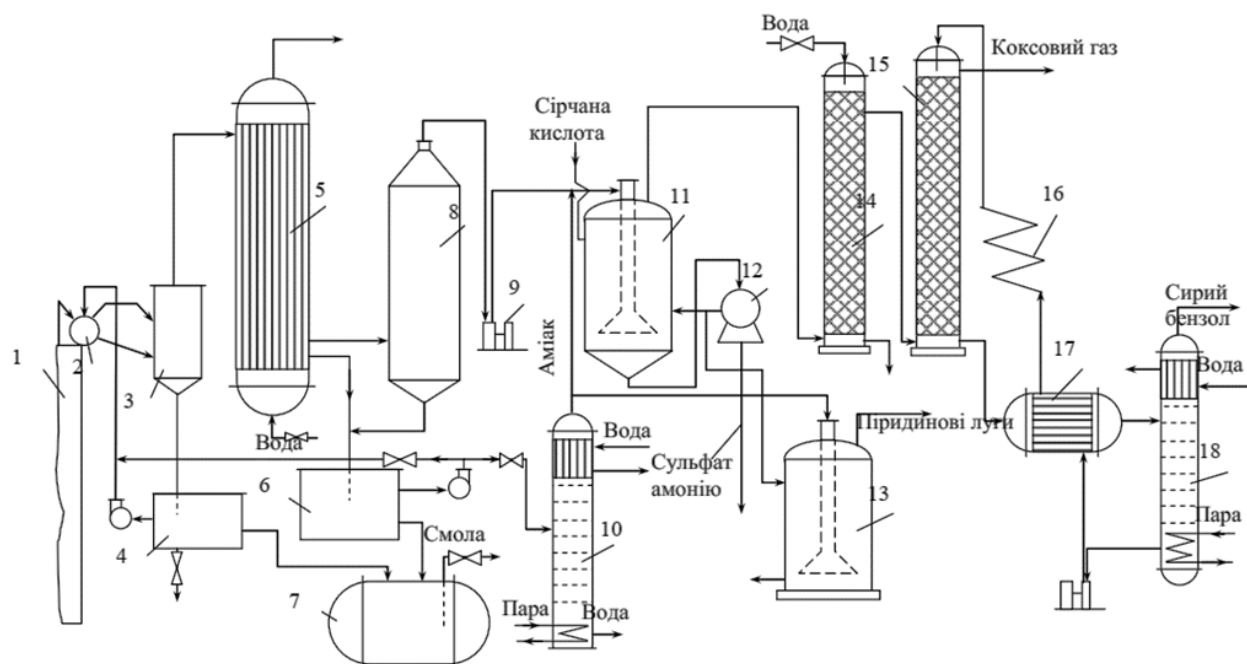
Коксують вугілля періодичним та безперервним способом.

*Періодичний спосіб коксування вугілля.* Його проводять у печах-камерах періодичної дії, які об'єднують у батареї, що складаються з кількох десятків печей.

*Безперервний спосіб коксування вугілля.* При цьому способі коксування проводять у стовбурних печах. Шихту попередньо підігрівають у камерних печах або в печах із «псевдокиплячим шаром» до температури 400 °С. За цієї температури шихта розм'якшується. Потім з цієї шихти на спеціальній машині формують брикети розміром 60×60×70 мм. Отримані брикети завантажують до печі, у середній частині якої найвища температура, тут і відбувається коксування. У верхній частині печі брикети нагріваються, а в нижній – охолоджуються. Остаточне охолодження та гасіння коксу проводять так само, як і в разі періодичного способу коксування. У разі безперервного способу отримання коксу час коксування скорочується до 3 годин; отриманий кокс має відповідні форму та розміри, що дуже важливо для виробництва чавуну;

крім того, можна коксувати також буре вугілля, а це дуже важливо, оскільки коксівного залишилось не так багато.

Наступним процесом на коксохімічному підприємстві є процес конденсації та уловлювання летких продуктів коксування (рис. 17.2).



**Рисунок 17.2 – Технологічна схема конденсації та уловлювання летких продуктів коксування**

1 - коксова піч; 2 - газозбірник; 3 - сепаратор; 4, 6 - відстійники; 5,14,16 - холодильники; 7 - проміжна ємність; 8 - електрофільтр; 9 - газодувка; 10 - аміачна колона; 11 - сатуратор; 12 - центрифуга; 13 - нейтралізатор; 15 - абсорбер; 17 - теплообмінник; 18 - десорбер

Коксовий газ, що виходить з печі, вміщує пари летких органічних сполук, пари води, аміак тощо. Подальша переробка газу полягає в конденсації мало летких речовин та уловлюванні аміаку, піридинових лугів та сполук, що не сконденсувалися. Леткі продукти коксування (прямий коксовий газ) з печі 1 потрапляє по стоякам в газозбірну трубу 2. Там проходить первинне охолодження та конденсація газу за рахунок випаровування аміачної води, яка подається в трубу через спеціальні розпорощувачі. При цьому продукти коксування охолоджуються до 85-90 °С і деяка частина з них конденсується. Коксовий газ відокремлюється від конденсату в сепараторі 3 та охолоджується до 30-35 °С в холодильнику 5, в якому конденсується додаткова кількість смоли. Газ, що виходить з холодильника, вміщує смоляний туман і для його виділення проходить електрофільтр 8, після чого газодувкою 9 транспортується в наступне відділення.

Конденсат із газозбірника 2 та сепаратора 3 поступає у відстійник 4, де розділяється на смолу та тверді смолисті речовини (нижній шар) і надсмольну воду (верхній шар), яка вміщує поглинений з коксового газу аміак. Конденсат

з холодильника 5 та електрофільтру 8 в сепараторі 6 розділяється на надсмольну воду та смолу. Кам'яновугільна смола із відстійників 4 та 6 збирається в проміжній ємності 7, звідки направляється в смолоперегінний цех. Надсмольна вода з відстійника 4 та частина надсмольної води з відстійника 6 використовується для первинного охолодження свіжого газу в газозбірнику 2. Таким чином здійснюється циркуляція значної маси надсмольної води. Залишкова кількість надсмольної води, що вміщує аміак, з сепаратора 6 направляється в колону 10 для відгонки аміаку, який далі уловлюється в сатураторі 11 розчином сульфату амонію з надлишком сірчаної кислоти. Цей апарат працює безперервно з постійною подачею свіжої сірчаної кислоти. Разом з аміаком в сатураторі 11 поглинається маса легких піридинових лугів.

Рідина, що вміщує сульфат амонію, з конічної частини сатуратора 11 безперервно відводиться в центрифугу 12. Там відокремлюються кристали сульфату амонію, а маточний розчин повертається до сатуратора. Деяку частину маточного розчину виводять з системи для виділення піридинових лугів. З цією метою надлишок сірчаної кислоти нейтралізують в нейтралізаторі 13 аміаком, який витісняє піридин та його солі. Під впливом тепла, піридинові луги, що виділяються, разом з парами води та інших речовин, відганяють з нейтралізатора 13, а розчин сульфату амонію повертається в сатуратор. Газ після сатуратора 11 ще вміщує пари летких органічних сполук (бензолу, толуолу тощо). Для їх уловлювання він охолоджується водою в холодильнику 14 безпосереднього змішування та проходить абсорбер 15, що зрошується поглинальним маслом. Газ, що виходить з абсорбера (зворотній коксовий газ) використовується для обігрівання коксових печей. Значна його частина направляється на хімічну переробку. Насичене поглинальне масло з низу абсорбера 15 проходить теплообмінник 17, де нагрівається гарячим зворотнім маслом, та поступає в колону 18. В ній проходить ректифікація, в результаті якої відганяється суміш легких ароматичних сполук (сирий бензол). Поглинальне масло, що звільняється від сирого бензолу, віддає своє тепло насиченому маслу в теплообміннику 17, додатково охолоджується в холодильнику 16 і знову використовується для абсорбції бензолних вуглеводнів з коксового газу. Ароматичні сполуки, що утворилися при коксуванні, знаходяться в кам'яновугільній смолі та сирому бензолі. Вихід кам'яновугільної смоли складає 32-34 кг, а сирого бензолу 10-11 кг на 1 тону сухого вугілля.

## **17.2 Загальна оцінка небезпеки коксохімічних заводів**

Аналіз статистичних даних про пожежі та вибухи на коксохімічних заводах показав, що більша частина їх виникає в цехах уловлювання. Дані виробництва є основними на коксохімічних підприємствах, що насичені великою кількістю обладнання та комунікацій. Основними причинами пожеж та вибухів на даних об'єктах є проведення електрозварювальних робіт, самозаймання сірчаних сполук заліза, несправність насосних установок, прогари труб печей та інші. Аналіз пожежної небезпеки технологічного процесу цеху улов-



лювання показує, що найбільш небезпечними ділянками є газопровід коксового газу та виробниче обладнання (скрубери, колони). Особливо небезпечним є період зупинки технологічних апаратів та трубопроводів на профілактичний огляд або ремонт. В цей період створюються всі сприятливі умови для утворення вибухонебезпечних концентрацій в результаті неповного видалення з апаратів горючих речовин, недостатньої продувки паром або інертним газом, негерметичного відключення апаратів від сусідніх з ними трубопроводів з пальним.

Розглянемо декілька прикладів пожеж та вибухів на КХЗ.

На Криворізькому КХЗ при проведенні газозварювальних робіт виник вибух в газопроводі газового холодильника та в пастці сатуратора бензольного відділення. Причиною аварії було порушення при відключенні апаратів на ремонт. В результаті коксовий газ поступив через міжболтові заглушки у парову дренажну комунікацію в дільницю газопроводу та в пастку сатуратору, де при взаємодії з повітрям утворилася вибухонебезпечна концентрація (ВНК). Вибухом зруйновано пастку сатуратора, обвалилися бензольний та сірчаний скрубери.

На Ясиновському КХЗ стався вибух при проведенні газозварювальних робіт внаслідок попадання іскри в об'єм електрофільтру. Причина: недостатнє пропарювання електрофільтру. Утворилася ВНК коксового газу з повітрям.

На Донецькому КХЗ в результаті несвоєчасного ремонту газопроводу на ділянці від первинних газових холодильників до бензольних скрубєрів відбувалося витікання коксового газу. При проведенні електрозварювальних робіт виникло спалахування коксового газу.

На Горлівському КХЗ у відділенні уловлювання бензолу та сірководню виникла пожежа на площі 200 м<sup>2</sup>. Причина: в результаті виходу із ладу підшипників насосу, що перекачував кам'яновугільне масло. Перекіс та тертя валу об корпус привели до його розгерметизації. При попаданні оливи на дуже розігрітий корпус спричинило її спалахування. На тому ж заводі від іскри газозварювальних робіт спалахнула горюча рідина, що просочувалася через нещільності трубопроводу, який був розміщений поруч зі скрубєрами. За декілька хвилин вогонь охопив п'ять скрубєрів та газовий холодильник. Від інтенсивного нагрівання стався вибух скрубєра, порушилась цілісність технологічних комунікацій, утворилось факельне горіння коксового газу.

В бензольно-скрубєрному відділенні Запорізького КХЗ при прориві ущільнення на верхньому фланцевому з'єднанні газовідводу бензольного скрубєру потоком коксового газу було винесено сірчисте залізо, яке при контакті з повітрям спалахнуло і привело до спалахування коксового газу. Вогнем було охоплено весь скрубєр, який був пофарбований кам'яновугільним лаком, а також газопровід та маслопровід. Солярове масло, що розлилося витекло в тунель з маслопроводами. По мірі вигорання прокладок на маслопроводі масло з домішками бензолу виливалося усередину тунелю, стався вибух. Під час пожежі обвалилися 3 ферми та покрівля насосної станції з боку скру-

берів на площі 150 м<sup>2</sup>, виникла незначна деформація верхньої частини скрубера, обвалився перехідний майданчик між скруберами.

Отже, пожежі та вибухи, що виникають на КХЗ приводять до великих руйнувань. Вогнем за короткий час можуть бути охоплені сусідні апарати та будівлі. Складність процесу розвитку пожежі обумовлюється наявністю великої кількості технологічних апаратів, що мають висоту до 50 м (скрубери та колони), що розміщуються на порівняно невеликих виробничих майданчиках.

Пожежна небезпека коксохімічного виробництва обумовлюється насамперед пожежовибухонебезпечними властивостями речовин та матеріалів, що обертаються – сировина, готова продукція – в основному ЛЗР, ГР та ГГ. Велика кількість коксового газу проходить через технологічні апарати та комунікації з метою вилучення з нього смоли, аміаку, фенолів, сірководню, бензолних вуглеводнів та пробки їх у готову продукцію: кам'яновугільну смолу, сульфат амонію, фенолят натрію, бензол, сірчану кислоту, коксовий газ очищений. З цих речовин не несуть пожежної небезпеки: сульфат амонію, фенолят натрію, сірчана кислота. Всі інші речовини є пожежовибухонебезпечними.

Коксовий газ – являє собою суміш, що складається із водню (60,5%), метану (25,7%), оксиду вуглецю (5,6%), азоту (3,0%) та його оксидів, вуглекислого газу (2,4%), етилену та його гомологів (2,5%) та інші домішки (0,3%).

Кокс кам'яновугільний – горюча речовина, показники пожежної небезпеки в залежності від ступеню дисперсності (при дисперсності 98 мкм –  $T_{cсn}=550$  °С,  $\varphi_n=125$  г/м<sup>3</sup>).

Бензол – ЛЗР, температура спалаху – -11°С,  $T_{cсn}=560$  °С,  $\varphi_n=1,43$  %,  $\varphi_g=8$  %,  $T_p=-15$  °С,  $T_g=13$  °С.

Слід відмітити, що навіть невеликі кількості коксового газу та сірководню, що захвачуються поглинальними рідинами (содовий маточний розчин, поглинальне масло) істотно впливають на пожежну небезпеку технологічного обладнання. Вони знаходяться в розчинах, виділяються з них і утворюють у закритих об'ємах ВНК. У відділеннях конденсації та аміачно-сульфатному відділенні приймають участь аміачна, надсмольна вода, що вміщує в собі леткий аміак, сірководень, феноли, піридин та луи. Це важкогорючі рідини, що не здатні до самостійного горіння, але представляють небезпеку. У закритих об'ємах можуть утворюватися вибухонебезпечні концентрації (ВНК) аміаку.

Пожежовибухонебезпека виробництва обумовлюється насамперед наявністю у всіх основних апаратах, ємностях та комунікаціях коксового газу, що здатний з повітрям у визначених умовах утворювати ВНК, а також наявністю ЛЗР та ГР (бензол, кам'яновугільне масло). Найбільш небезпечним є цех уловлювання продуктів коксування. Так по загальному об'єму апаратів та комунікацій цеху горюче та пожежовибухонебезпечне середовище займає близько 13 000 м<sup>3</sup>, що складає 67,7% від загального об'єму. Найбільша кількість горючого завантаження в апаратах, комунікаціях, ємностях, комунікаціях знаходиться у відділенні уловлювання сірководню та бензолу – близько 10 000 м<sup>3</sup>.

Значний вплив на пожежну небезпеку мають конструктивні особливості апаратів. Апарати (колони, скрубери) представляють собою сталеві циліндри

діаметром 6 м та висотою до 50 м. Розміщені по одній лінії один з одним. Внизу знаходиться коксовий газ, десятки тон поглинальної оливи та хордові насадки з деревини.

Апарати поєднуються технологічними комунікаціями (газопроводами, маслопроводами тощо), що мають велику кількість запірної арматури та фланцевих з'єднань біля скрубєрів установлени насоси, що перекачують поглинальне масло. Таке компактне розміщення обладнання на порівняно невеликому виробничому майданчику приводить до того, що пожежі можуть швидко прийняти значні розміри.

Найбільшу складність представляють по конструкції бензолні скрубєри. Корпус скрубєра виконаний із сталі товщиною 12 мм. Захист корпусу теплоізоляцією не передбачений. Скрубєри встановлені на бетонному майданчику та утримуються анкерними болтами. Для контрольного огляду та ремонту, внутрішній об'єм нижньої частини не містить горючих речовин, тобто внутрішня та зовнішня поверхні стінки корпусу обмиваються повітрям. Це все під час пожежі може стати причиною різкого зниження механічної міцності сталі та деформації корпусу. Якщо скрубєр лишається своєї несучої здатності, то може бути причиною розривів технологічних комунікацій, що пов'язані з ним, а також викликати пошкодження сусідніх апаратів, що приведе до розливу ЛЗР та ГР. Небезпечним є дія високих температур на сусідні апарати. При появі нещільностей в бензолних скрубєрах можливий вихід коксового газу. У місцях його виходу можуть утворюватися місцеві ВНК.

*Найбільш ймовірні причини виникнення техногенних аварій на КХЗ:*

- порушення технологічного процесу;
- несвоєчасний чи неякісний ремонт апаратури й устаткування;
- невідповідність апаратури, устаткування, електросилових і освітлювальних ліній, електроарматури, контрольно-вимірювальних приладів (КВП), вентиляційних, опалювальних і інших систем нормативним вимогам;
- порушення передбаченого протипожежного режиму.

Підвищений тиск у колонах може виникнути в результаті порушення відбору з колони парів бензолу та води, а також оливи, утворення різного роду відкладень (коксу, полімерів) у отворах пальників. При цьому виникає опір апаратів, порушується заданий технологічний режим.

Поширеною причиною підвищення тиску в колонах є порушення процесу конденсації парів при зменшенні або повному припиненні подачі води в дефлегматори-холодильники, при несправності вентиляторів, конденсатора повітряного охолодження. Підвищення тиску в колонах може бути при підвищенні температурного режиму, що виникає при збільшенні кількості тепла, що поступає в дистиляційну колону в результаті збільшеної подачі гострої пари в колону. При попаданні води або поглиначи з водою в дистиляційну колону, вода швидко закипає, утворюючи при цьому пару. В скрубєрах підвищений тиск може утворюватися внаслідок зростання опору шару насадки скрубєрів за рахунок відкладень, що утворюються з кам'яновугільної оливи (шлам, антрацен, полімери). Небезпечним є також підвищення в скрубєрах

рівня оливи в нижній частині скрубера. В цьому випадку газова фаза здатна перейти з першого скрубера в збірники, а потім у відділення дистиляції.

**Висновок.** Таким чином, коксохімічний завод являє собою складний технологічний комплекс, що включає безліч технологічних процесів, які мають підвищену небезпеку виникнення аварій, попередження яких ґрунтується насамперед на знанні причин і умов виникнення пожеж та вибухів.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що собою представляє сировина для виготовлення коксу на КХЗ?
2. Що таке шихта?
3. Назвіть основні пожежовибухонебезпечні властивості речовин, які обертаються на КХЗ.
4. В чому полягає техногенна небезпека отримання коксу?
5. Які ви знаєте структурні підрозділи ХКЗ? В чому полягає їхня техногенна небезпека?
6. Які найбільш ймовірні причини виникнення техногенних аварій на КХЗ?
7. Які ви знаєте заходи щодо поліпшення техногенної безпеки на ХКЗ? Наведіть приклади.

### **Рекомендована література**

1. Шульга І.В., Мірошніченко Д.В., Богоявленська О.В. Основи технології коксування вугілля: посібник. Харків-Тернопіль: НТУ «ХП», Видавництво «Крок», 2022. 128 с.
2. Шульга І.В., Мірошніченко Д.В., Пиш'єв С.В., Богоявленська О.В.. Виробництво коксу. Харків-Тернопіль: НТУ «ХП», «Видавництво Крок», 2020. 110 с.
3. ПТЕ-2017 Правила технічної експлуатації коксохімічних підприємств. Харків: ДП «Гипрококс», 2018. 283 с.
4. Иванов Е. Б. Технология производства кокса / Е. Б. Иванов, Д. А. Мучник. – Київ: Вища школа, 1978. – 232 с.

## ЛЕКЦІЯ 18

### БЕЗПЕКА ТЕПЛОВИХ ТА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

#### ПЛАН

18.1 Особливості технологічного процесу виробництва електроенергії на теплових станціях.

18.2 Особливості технологічного процесу виробництва електроенергії на атомних електростанціях.

18.3 Небезпека теплових та атомних електростанцій та їх захист.

#### **18.1 Особливості технологічного процесу виробництва електроенергії на теплових станціях**

Електроенергетика поєднує всі процеси генерування, передачі, трансформації і споживання електроенергії. Вона містить у собі теплові, гідравлічні, атомні електростанції і теплові мережі країни, об'єднані в енергетичні системи, що є базою електрифікації і теплофікації всіх галузей народного господарства і побуту населення. Основні потужності країни зосереджені на електростанціях виробничих енергетичних об'єднань. У країні діє об'єднане диспетчерське керування енергосистемами. При виробництві електричної енергії в енергокомплексі задіяні електростанції, енергосистема і споживач енергії. Електричні мережі й енергосистеми включають високовольтні лінії електропередачі (довжиною більш 120 тис. км повітряних ліній напругою понад 35 кВт), підстанції високої напруги і розподільні електричні мережі (довжина більш 900 тис. км). Електрифікація є головним постачальником електроенергії для промисловості.

Електрична станція являє собою енергетичне підприємство на якій енергія природних джерел перетворюється в енергію електричного струму. Звідси електроенергія видається споживачам через ряд електроустановок, на яких відбувається її подальше перетворення і розподіл. Електричний спосіб передачі і розподілу енергії є найбільш поширеним. Основне енергосилове устаткування станції – первинні двигуни – парові турбіни або гідротурбіни, що утворюють разом з генераторами турбо- або гідроагрегати. Основний ресурс для вироблення електроенергії – паливо: вугілля, мазут, сланці, природний і доменний газ.

До нетрадиційних джерел електроенергії відносяться сонячні, геотермальні, вітрові і приливні.

**Сонячна електростанція (СЕС).** Першу СЕС збудовано в Криму. Її потужність 5 МВт. Висота центральної вежі СЕС разом із парогенератором – 89 м. Для отримання водяної пари на сонячній СЕС воду нагрівають енергією Сонця. На висоті 78 м розташовано котел, на який подають сонячну енергію дзеркальні геліостати. Площа всіх дзеркал дорівнює 40 тис. м<sup>2</sup>. Пара, утворена в казані в процесі нагрівання води, має температуру 225 °С і тиск 2,6 МПа. Цих параметрів досить для руху турбін, а з нею і ротору генератора, який завершує цикл перетворення енергії на електричну. Кожне дзеркало обертається навколо вертикальної та горизонтальної осей.

**Вітрова електростанція (ВЕС).** Приклад ВЕС є на Меганомі (Крим). Запаси вітрової енергії безмежні. Перша в світі ВЕС збудована в 1931 році в Криму. Її потужність – 100 кВт. Дослідження останніх років показали, що вартість виробленої енергії на ВЕС нижча, ніж на інших. Коефіцієнт корисної дії сучасних вітродвигунів є 45 %. Складовою частиною ВЕС є вітрове колесо, яке обертається під дією сили вітру. Це колесо розташоване на валу, який передає обертання колеса електричному генератору, де виробляється електроенергія. Якщо на ГЕС та ВЕС енергію води та вітру перетворюють зразу на електроенергію, то на інших спочатку отримують пару або газ, а вже потім електроенергію.

Електростанції поділяються на газотурбінні, теплові турбінні, гідравлічні, дизельні, атомні, теплоелектроцентралі (ТЕЦ).

**Теплові електростанції (ТЕС)** є основною базою виробництва електроенергії. До найбільших ТЕС України відносяться: Запорізька, Вуглегірська (3600 МВт), Криворізька (3000 МВт), Зміївська і Бурштинська (по 2400 МВт), Придніпровська (1900 МВт), Луганська і Старобешівська (по 2000 МВт).

**Гідроелектростанції (ГЕС)** представлені каскадом електростанцій на Дніпрі (Дніпрогес (1478 МВт), Каховська (350 МВт), Середньодніпровська (350 МВт), Кременчуцька (625 МВт), Київська (551 МВт), Канівська (420 МВт) і електрокомплексом на річці Південний Буг (Південно-Українська, Ташликська, Костянтинівська).

Складовими частини ГЕС є гребля, яка затримує воду у водосховищі, гідротурбіна та електричний генератор. Енергія води, яка падає з висоти понад 200 м на лопати турбіни в електричному генераторі, перетворюється на електричну енергію.

Крім ГЕС є **гідроакумуючі електростанції (ГАЕС)**, які вночі нагромаджують електроенергію, що виробляють інші електростанції, а на час «пік» віддають її. Перша ГАЕС побудована на Дніпрі.

За встановленою потужністю розрізняють ГЕС велику (потужні) (понад 250 МВт), середні (до 25 МВт) і малі (до 5 МВт).

На ГЕС застосовують два типи турбін: радіально-осьові і поворотні лопатеві (це так названі реактивні турбіни). Більш широке застосування знаходять турбіни з поворотними лопатями (число лопатей – 10-30). Основна частина турбіни – робоче колесо, де енергія водяного потоку перетворюється в енергію обертання, передану через вал ротору електричного генератора.

Найбільш розповсюджений тип теплової електростанції – ДРЕС (державна районна електростанція), що представляє конденсаційну станцію, на якій пара, що відробила, викидається в конденсатор. ДРЕС споруджується поблизу місць перебування паливних енергоресурсів на віддаленні від промислових центрів. Застосування трубопроводів для далекого транспортування газу і мазуту дозволяє наблизити такі електростанції до споживача. Одиничні потужності парових турбін і турбогенераторів досягають 500-800 МВт. ДРЕС видають електроенергію тільки на підвищеній напрузі і по високовольтних лініях електропередачі в енергосистеми.

Наступний тип теплових станцій – **теплоелектроцентралі (ТЕЦ)** з комбінованим виробленням теплової й електричної енергії. При установці турбін з відбором або протитиском використовується тепло відпрацьованої пари за рахунок чого ТЕЦ може, крім електроенергії, давати теплову енергію у виді пари або гарячої води для промислових цілей і опалення. Видача електроенергії від ТЕЦ до споживачів звичайно виробляється по кабельних лініях на генераторній напрузі.

Теплофікація дозволяє, за рахунок комбінованого виробництва теплової й електричної енергії на теплоелектроцентралях, забезпечити централізоване постачання промисловим підприємствам і великим містам, досягти значної економії палива. У 1983 р. сумарна встановлена потужність ТЕЦ складала понад 6 000 МВт. Об'єднання електростанцій в енергосистеми дозволяє поліпшити роботу всіх електростанцій і споживачів. Технологічний процес виробництва електроенергії на об'єктах енергетики є складним і небезпечним.

*Розглянемо особливості технологічного процесу виробництва електроенергії на ТЕС.*

На теплових електростанціях як паливо застосовується вугілля, торф, сланці, рідкі нафтопродукти, газ. Паливо, що надходить на електростанцію, проходить підготовку і подається в топку. Підготовка твердого палива (вугілля) полягає в його подрібнюванні до пилоподібного стану в дробильному корпусі, потім пил направляєється в бункери пилу по пилопроводам за допомогою вентиляторів, далі пилоповітряна суміш по пилопроводу нагнітається гарячим повітрям у топку котла, де спалахує. У трубопроводах котлів нагрівається вода до одержання пари, яка потім надходить у пароперегрівник, де нагрівається до температури близько 560 °С и тиску 250 атм. Під таким тиском і температурою пара надходить на лопаті турбін і обертає їх. Турбіна жорстко закріплена з генератором і збудником, відбувається перетворення механічної енергії в електричну. Збудник дає постійний струм в обмотку обертового ротора синхронного генератора, у якому магнітні силові лінії наводять електрорушійну силу (ЕРС). Вироблена електроенергія по шинопроводам подається в силові трансформатори, а від них – по лініях електропередач до споживача.

Основна споруда ТЕС - це головний корпус, у якому розміщаються бункерне відділення (у газо-мазутних ТЕС відсутнє), котельне відділення і машинний зал. До головного корпусу примикає будівля, де розміщений головний щит керування і розподільний пристрій генераторної напруги. Ця будівля з'єднується з головним корпусом перехідним містком. Розподіл електроенергії до споживачів відбувається за допомогою відкритих розподільних пристроїв (ВРП) і підстанцій. Пристрої по прийому, зберіганню, підготовці і транспортуванню палива складають паливне господарство.

*Основні спорудження ТЕС розглянемо на прикладі Зміївської ГРЕС.*

Зміївська ГРЕС розташована в Харківській області в Зміївському районі в напрямку автодороги Зміїв – Балаклея. Встановлена потужність електростанції 2400 МВт. В експлуатації знаходиться 6 енергоблоків по 200 МВт і 4 енергоблоки по 300 МВт.

На території розташовані:

1. Головний корпус з відкритим розподільчим пристроєм 330/110 кВт. Довжина 456 м, ширина 96 м, висота машинного відділення 28 м, котельного – 56 м;

- турбіни К-200-130;
- центральний щит керування;
- генератори 200 МВт;
- турбіни К-300;
- генератори 300 МВт.

Поза приміщенням розміщені блокові трансформатори, у яких знаходиться від 35 до 74 т трансформаторної оливи.

У баках з оливою турбін від 28 до 36 т оливи.

У оливостанціях кульових барабанних млинів – по 2,3 т оливи.

У системах охолодження генераторів використовується водень (70-75 м<sup>3</sup>).

2. Службовий корпус.

3. Об'єкти паливопостачання – 2 склади газорозподільний пункт і пропускний пункт;

4. Мазутне господарство – мазутонасосна 1 (зливна естакада, 2 підземних резервуари) і мазутонасосна 2 (8 резервуарів).

5. Об'єкти вуглеприготування – вагоноперекидач, галереї паливоподачі, бункери і живильники сирого вугілля, кульові барабанні млини, бункери пилу.

6. Об'єкти хімоводоочистки, майстерні, ацетиленова і киснева станція.

## **18.2 Особливості технологічного процесу виробництва електроенергії на атомних електростанціях**

На території України працює чотири атомні електростанції (АЕС).

*Рівненська АЕС* – розташована в поліській частині на березі Стирі. Будівництво почате в 1973 р., 1981 та в 1983 р. Були введені в роботу блоки другого покоління з реакторами ВВЕР-440. Сумарна електрична потужність блоків – 1818 МВт, будується 4-й блок потужністю 1000 МВт. Місто енергетиків – Кузнецовськ.

*Південно-Українська АЕС* – розташована на Південному Бузі в Миколаївській області. Будівництво почате в 1986 р. В експлуатації знаходяться 3 енергоблоки одиначною потужністю 1000 МВт кожний. Будівництво 4-го блоку заморожено. Місто енергетиків – Южно-Українськ.

*Хмельницька АЕС* – розташована в Славутському районі Хмельницької області. Будівництво почате в 1981 р. Повна проектна потужність – 4000 МВт. Перший блок введений в роботу в 1988 р. Ведеться будівництво 2-го блоку. Місто енергетиків – Нетішин.

*Запорізька АЕС* – найбільша атомна станція Європи. Установлена потужність – 6 0000 МВт, працює 6 енергоблоків. Розташована на лівому березі Каховського водоймища, місто Енергодар. Будівництво почате в 1979 р. У результаті мораторію пуск 6-го блоку затримано на 5 років.



В основі вироблення електроенергії на АЕС лежить принцип реакції розподілу ядер важких елементів під впливом нейтронів, що здійснюється у ядерних реакторах, які дозволяють регулювати, підтримувати ланцюгову ядерну реакцію.

Відомо, що за своєю будовою атом схожий з сонячною системою: кругом невеличкого ядра рухаються по орбітам «планети» – електрони. Ядро ж складається з більш малих частинок – протонів та нейтронів. Число протонів в ядрі, які мають позитивний заряд визначає до якого хімічного елементу відноситься даний атом (порядковий номер в таблиці Д.І. Менделєєва). У кожному атомі число електронів (негативно заряджених частинок) стільки скільки протонів, тобто атом є нейтральним. Крім цього в ядрі є і нейтральні частинки – нейтрони, число яких може бути різним. Якщо атом має ядра з однаковим числом протонів, але різниться кількістю нейтронів, то він відноситься до ізоотопів – різновидів одного хімічного елементу. Ізотопи мають однакове число протонів. Так, уран-238 містить 92 протона і 146 нейтронів, уран-235 – 92 протона але 143 нейтрона. Ядра всіх ізоотопів утворюють групу «нуклідів» і є нестабільними (весь час вони перетворюються в інші нукліди). Час від часу з ядер урану-238 (ядро відноситься до нестабільної групи хімічних елементів «нуклідів») вириваються групи з 2-х протонів і 2-х нейтронів ( $\alpha$ -частка) і він перетворюється в торій-234, що також поділяється по ланцюжку до одержання стабільного нукліда свинцю. Поділ ядер урану-238 найбільш імовірний при поглинанні низькоенергетичних (теплових) нейтронів. При поглинанні ядром теплового нейтрона утворюється ядро урану-236 у збудженому стані. Приблизно з 85% імовірністю пройде поділ цього ядра на два уламки з одночасним випусканням двох або трьох швидких нейтронів та виділенням енергії. Уламки поділу представляють собою радіоактивні ядра хімічних елементів середньої частини таблиці Д.І. Менделєєва.

Нейтрони, що утворюються при поділу, поділяються на миттєві (приблизно 99%), які вириваються в момент поділу, та нейтрони, що запізнюються (1%) при розпаді уламків поділу. Середня енергія нейтронів, що запізнюються складає приблизно  $0,8 \cdot 10^{-13}$  Дж (0,5 мегаелектронвольт, MeV), миттєвих  $3,2 \cdot 10^{-13}$  Дж (2 MeV). Щоб забезпечити самопідтримуючу реакцію необхідно зменшити енергію утворення швидких нейтронів, тобто сповільнити їх, що можливо при зіткненні нейтронів з ядрами легких елементів. Самопідтримуюча реакція поділу може проходити тільки при визначених розмірах (об'ємі) реактора, коли виток нейтронів знаходиться в рівновазі з утворенням їх в процесі поділу. Такі розміри (об'єм) називаються критичними, а маса ядерного палива, що заповнює активну зону при критичних розмірах – критичною. Весь процес мимовільного розпаду нестабільного нукліда називається радіоактивним розпадом, а сам такий нуклід – радіонуклідом.

Період, за який розпадається в середньому половина всіх радіонуклідів визначеного типу в будь-якому радіоактивному джерелі називається періодом напіврозпаду відповідного ізоотопу. Цей процес продовжується безперервно. При кожному етапі розпаду вивільняється енергія, яка передається далі у ви-

гляді випромінювання: випущення ядром частки з 2-х протонів і 2-х нейтронів – це  $\alpha$ -випромінювання; випущення електрона – це  $\beta$ -випромінювання; вихід порції чистої енергії –  $\gamma$ -випромінювання.

Повна енергія, що виділяється при поділу одного ядра урану, складає 200 МеВ (мегаелектронвольт) або  $3,2 \cdot 10^{-11}$  Дж, а теплова енергія, що виділяється при поділу 1 г урану, складає  $7,79 \cdot 10^{10}$  Дж, що відповідає спалюванню 2660 кг вугілля.

Таблиця 18.1 – Схема розпаду Урану-238

	Вид випромінювання при розпаді	Нуклід	Період напіврозпаду
15 перетворювань	$\alpha$ -випромінювання	Уран-238	4,47 млрд. років
	$\beta$ -випромінювання	Торій-234	24,1 доби
	...	...	...
	$\alpha$ -випромінювання	Радій-226	1600 років
	...	...	...
	$\alpha$ -випромінювання	Полоній-210	138,4 доби
	—	Свинець-206	Стабільний

Переважає більшість реакторів працюють на урані. Природний уран являє собою суміш двох ізотопів – урану-235 та урану-238. Основна речовина, що підлягає розпаду – уран-235, в природному урані його лише 0,7%. Його ядра діляться під впливом, як швидких нейтронів, так і теплових. Щодо ядер урану-238, вміст якого в природній суміші 99,3%, то вони діляться тільки під впливом швидких нейтронів з енергією більше 1,1 МеВ. Тому уран-238 є тільки в основному поглиначем нейтронів, і отже запобігає протіканню ланцюгової реакції поділу на ядрах урану-235.

Для здійснення ланцюгової реакції розподілу на ядрах урану-235 необхідно збагачення природного урану більш ніж у 10 разів, тим самим забезпечуючи кількість урану-235, або забезпечити в зоні реакції теплові швидкості нейтронів. Для здійснення незатухаючої ланцюгової реакції необхідно забезпечити такі умови, при яких коефіцієнт розмноження нейтронів був би не менше одиниці, тобто число нейтронів кожного наступного розподілу дорівнювало би або перевищувало кількість нейтронів попереднього поділу. Це можливо здійснити, якщо природний уран помістити в речовину, яка ефективно сповільнює швидкі нейтрони, що утворюються при розподілі урану-235 до теплових енергій ( $E=0,025$  eВ). Такими сповільнювачами є вуглець (графіт), важка вода, берилій або оксид берилію (дуже дорогий). Вода має порівняно великий переріз захвату теплових нейтронів і може бути використана в якості сповільнювача при роботі реактора на збагаченому урані-235. Природний графіт вміщує до 20% бору і тому не придатний як сповільнювач. Для цього одержують реакторний графіт штучно із суміші нафтового коксу та кам'яновугільної смоли, а потім термічно обробляють при високих температурах. За конструкцією графітові сповільнювачі мають форму стрижня і називаються поглинальними стрижнями.

Якщо атоми урану бомбардувати нейтронами, то з кожного ядра утвориться по два уламки і кілька нейтронів. Нейтрони, вдаряючись об інші ядра, спричиняють ланцюгову реакцію поділу нових ядер. Під час поділу ядер енергія зв'язку переходить у кінетичну енергію уламків і виділяється у вигляді теплоти, коли уламки гальмуються в речовинах. Цю вміло зібрану теплоту використовують для нагрівання води й утворення водяної пари, яка приводить в рух турбіну.

Таким чином, для функціонування АЕС потрібно мати:

- паливо (уран, плутоній);
- сповільнювач нейтронів (легка або важка вода, графіт, берилій);
- теплоносій для відведення теплоти;
- конструкційні матеріали;
- органи регулювання ланцюгової реакції (рухомі стрижні з матеріалу, який поглинає нейтрони);
- систему захисту від випромінювання;
- систему циркуляції теплоносіїв і перетворення енергії.

Ядерний реактор (ЯР) – основний апарат в якому здійснюється поділ важких ядер урану з виділенням великої енергії. Основна частина ЯР – активна зона, де знаходяться ядерне паливо та сповільнювач.

У більшості країн світу експлуатуються переважно енергетичні реактори на теплових нейтронах зі слабозбагаченим або природним ураном, вододляного (ВВЕР) типу, у яких вода є і теплоносієм і сповільнювачем.

Взагалі існує класифікація реакторів за:

- призначенням (енергетичні, експериментальні);
- за розміщенням палива та сповільнювача (гомогенні, гетерогенні);
- за ядерно-фізичними процесами (ЯР на теплових нейтронах, ЯР на швидких нейтронах);
- за видом теплоносія (з водяним (ВВЕР), графіто-водяним (ГВР), важководним (ВВР), графіто-газовим (ГГР));
- за конструктивними ознаками (корпусні – тиск теплоносія витримується корпусом ЯР, каналні – тиск теплоносія витримується стінками ТВЗ, басейнові- експериментальні, тобто активна зона знаходиться в баку з водою).

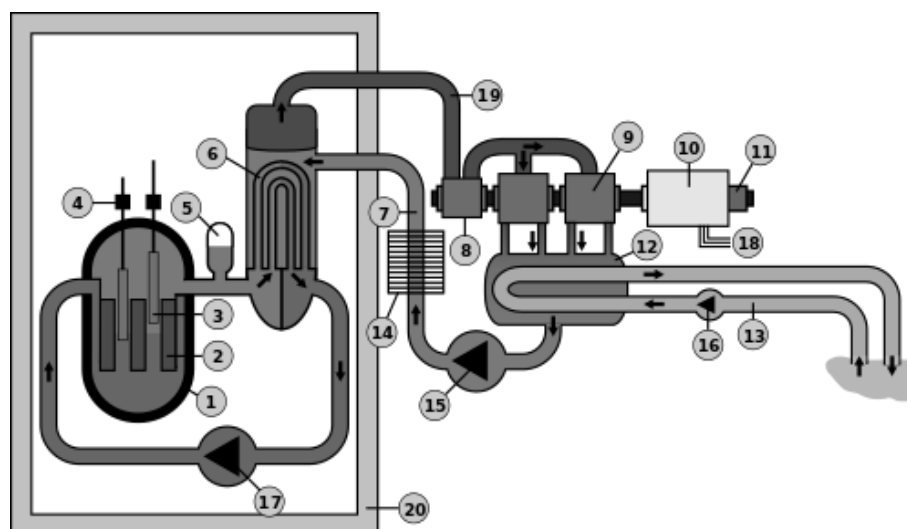
На сьогодні в світі розроблено 10 основних типів енергетичних реакторів. У США, наприклад, основними є АЕС з вододляними реакторами з водою під тиском та киплячі реактори, в Канаді – АЕС з важководними реакторами і т.д. У колишньому СРСР для АЕС першого покоління будувалися уран-графітові реактори каналного типу, до яких відноситься і широко сумновідомий тепер РВПК (РБМК – рос.), а пізніше – вдосконалені водо-водяні реактори з водою під тиском.

Реактори типу РВПК діють на Ленінградській, Курській, Смоленській та Ігналійській АЕС. Вибір цього типу реакторів фахівці пояснюють простою і технологічною доступністю. Для цього реактора можна було використовувати менш збагачене паливо, можна було не зупиняючи реактор, перезавантажувати ТВЗ, він не має важкого корпусу (на інших реакторах сталеві

вироби досягають маси до 200-500 тон). Недоліками були: відсутність єдиного корпусу – відсутність додаткової перешкоди на шляху викиду радіонуклідів при аварії; активна зона РВПК має величезні розміри (діаметр становить 12 м, висота – 7 м); експлуатаційні викиди радіоактивних благородних газів у РВПК мало не в 40 разів більші, ніж ВВЕР.

В ядерному реакторі майже вся енергія, що звільнюється при діленні ядер, перетворюється в теплову енергію, а потім в електричну. В якості ядерного палива для АЕС використовують ізотопи, що діляться: уран-235, уран-233, плутоній-239.

Ядерний реактор складається з декількох зон. В активній зоні здійснюється поділ ядер урану. Відбір теплоти, що виділяється при поділу, здійснюється шляхом циркуляції теплоносія через активну зону. Зміна кількості поділу в активній зоні (а отже, потужності реактора) здійснюється за допомогою стрижнів регулювання системи управління та захисту реактора.



**Рисунок 18.1 – Умовна схема енергоблоку із водо-водяним енергетичним реактором (ВВЕР)**

1 - реактор, 2 - паливо, 3 - регулюючі стрижні, 4 - приводи СУЗ, 5 - компенсатор тиску, 6 - теплообмінні трубки парогенератора, 7 - подача поживної води в парогенератор, 8 - циліндр високого тиску турбіни, 9 - циліндр низького тиску турбіни, 10 - генератор, 11 - збудник, 12 - конденсатор, 13 - система охолодження конденсаторів турбіни, 14 - підігрівачі, 15 - турбоживильний насос, 16 - циркуляційний насос, 17 - головний циркуляційний насос, 18 - підключення генератора до мережі, 19 - подача пари на турбіну, 20 - гермооболонка

Ядерне паливо завантажується у виді тепловиділяючих елементів (ТВЕЛів).

Діаметр ТВЕЛа – 9,1 мм.

Діаметр паливних таблеток – 7,53 мм.

Маса завантаження двоокису урану у ТВЕЛи – 1565 г.

Твेलі поєднуються в тепловиділяючі зборки (ТВЗ) касетного типу, що містять 317 твелів і 12 направляючих стрижнів регулювання. Кількість ТВЗ в активній зоні – 163, з них з регулюючими стрижнями – 61.

Конструктивно реактор ВВЕР являє собою вертикальну циліндричну судину з кришкою. Усередині корпусу реактору в спеціальній циліндричній шахті установлюється виймальний кошик з активною зоною – з висотою 2,5 м і діаметром 3,0 м. Активна зона набирається з ТВЗ і касет, системи захисту і керування. Наприклад, на Хмельницькій АЕС реактор тепловою потужністю 3000 МВт має масу 320 т, діаметр корпусу 4,57 м, висота корпусу 10,9 м. Активна зона реактора, касети з ТВЕЛами – 163 шт., кількість твелів в робочій касеті 312 шт., діаметр ТВЕЛа – 9,1 мм, завантаження палива 74,2 тонн.

Заміна касет, що вигоріли, здійснюється на зупиненому та розкритому реакторі. Щорічно здійснюється вивантаження приблизно 1/3 робочих касет та довантаження такої ж кількості палива. Вилучення відпрацьованих касет з реактора здійснюється під водою спеціальною розвантажувальною машиною з дистанційним керуванням.

Тепло, що виділяється твелями, відводиться безупинно циркулюючим теплоносієм (вода, важка вода, натрій). Теплоносії: природня вода попередньо деаерується (очищення, видалення газів). Недолік – низька температура кипіння та поглинання теплових нейтронів. Важка вода мало відрізняється за властивостями від звичайної води, але не поглинає нейтрони. Недолік – висока вартість. Натрій – гарний теплоносій, не реагує з металами до 600-900 °С. На АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000, на відміну від станцій з «чорнобильськими» реакторами типу РВПК (реактор великої потужності каналний, одноконтурна схема), використання теплоти активної зони здійснюється по двоконтурній схемі.

Перший контур – радіоактивний, теплоносієм та уповільнювачем тут є знесолена вода під тиском. Перший контур включає в себе ядерний реактор, чотири петлі циркуляції теплоносія з головними циркуляційними насосами, компенсатор об'єму, парогенератори. Ядерний реактор типу ВВЕР охолоджується теплоносієм першого контуру. Теплоносій прокачується через активну зону реактора головними циркуляційними насосами, де віддає в парогенераторах тепло воді другого контуру.

Трубопроводи, парогенератори, насоси (ГЦН) – виконані з аустенітної сталі, фільтри першого контуру, компенсатори тиску та ємності системи аварійного охолодження реактора виконані з легованої сталі.

Другий контур – нерадіоактивний, призначений для одержання насиченої пари, подачі її на турбіну та одержання електроенергії, - складається з паровиробляючої частини парогенераторів, турбіни з генератором і допоміжного устаткування машинного відділення. У схему другого контуру включена бойлерна установка продуктивністю 840 ГДж/год для опалення будинків промислової площадки і житлового селища АЕС. Обидва контури є ізольованими один від одного, що дозволяє запобігти переходу радіоактивних речо-

вин з першого в другий. Але двоконтурна система також має недоліки, особливо, якщо теплоносієм є натрій. Недоліком двоконтурної системи відведення теплоти від зони реакції є близьке «сусідство» теплоносіїв – натрію і води – у разі руйнування другого контуру. Вода і натрій взаємодіють з виділенням водню та великої кількості теплоти. Аварійна зупинка контуру неминуха.

У наш час у деяких країнах Світу вже працюють АЕС з реакторами на швидких нейтронах (РШН). Паливом у них є уран-238. Традиційно теплоту від реактора на ШН відбирають за допомогою 3-х циркуляційних систем (3-х контурів); перша та друга системи наповнені натрієм, третя – водою. Другий контур упроваджено для підвищення надійності та безпеки реактора, гарантування його роботи навіть у разі неполадок у парогенераторі. Парогенератор складається з 20 тис. трубок, усередині яких під тиском циркулює вода (перегріта пара); назустріч воді між трубами тече розплавлений натрій, який через стінки трубок віддає свою теплоту воді. Вода, нагріваючись, перетворюється на пару, яку спрямовують у турбіну. Порушення герметичності хоча б в одній із трубок спричиняє вихід води з контуру та взаємодію її з натрієм, а потім вихід з ладу парогенераторів. Має місце аварія.

Насьогодні натрій не має собі рівної заміни в першому контурі. Він є найкращим теплоносієм у реакторах на швидких нейтронах. Щоб уникнути сусідства натрію з водою учені запропонували замінити його у другому контурі на інертний відносно води та натрію теплоносій. Таким теплоносієм є евтектичний сплав літєвих сполук, який скорочено називають евлітом. Він не здатний до самозаймання та вибуху. Впровадження евліту теплоносієм в другому контурі спрощує конструкцію парогенератора, робить її дешевою, безпечнішою та полегшує ремонтні роботи.

Основними спорудами на АЕС є: головні корпуси енергоблоків; спецкорпуси із санітарно-побутовими блоками, блоками майстерень і сполучних естакад; об'єднаний допоміжний корпус; об'єднаний газовий корпус; спорудження технічного водопостачання; електротехнічні спорудження.

1) Головний корпус — поєднує реакторне відділення, машинний зал і примикаюче до нього деаераторне відділення і приміщення розподільного пристрою власних потреб.

Реакторне відділення – герметична циліндрична оболонка діаметром 47,4 м із сферичним куполом і негерметична – оббудова.

Основне технологічне обладнання реакторної установки – реактор, парогенератори, головні циркуляційні насоси (ГЦН), компенсатор об'єму, ємність системи аварійного охолодження зони, трубопроводи зв'язку, розміщені під захисною оболонкою в боксах з масивними стінками з важкого бетону і залізобетону. Оболонка й обладнання установлені на загальному фундаменті, основою якого служить масивна монолітна плита. Перекриття негерметичної частини виконано зі збірних залізобетонних панелей. Реакторне відділення поділено на зони суворого та вільного режиму.

В зоні суворого режиму знаходяться системи, які мають контакт з радіоактивною водою першого контуру:

- системи аварійного розхолодження реактора та гасіння аварійного тиску в герметичній оболонці;
- системи розхолодження басейну витримки;
- системи промислового контуру ГЦН;
- системи організованих протікань;
- системи продувки – постачання 1 контуру;
- системи продувки парогенераторів;
- витяжний вентилятор з системою очищення газових здувок;
- оливна система ГЦН;
- спецканалізація тощо.

### **18.3 Небезпека теплових електростанцій і атомних електростанцій та їх захист**

Сьогодні багато електроенергетичних установок і устаткування створюють радіаційні, токсичні, пожежовибухонебезпечні й інші аварійні ситуації, які є причинами або наслідками промислових аварій. Про це свідчить така хронологія аварій, що відбулися в Україні і країнах ближнього зарубіжжя:

У 1980 році на Тамбовській ТЕС при проведенні електрозварювальних робіт відбулися вибух і пожежа проміжної ємності місткістю 600 м<sup>3</sup> мазутного господарства: з ладу виведені ємності, 2 заглибних насоси, трубопроводи і кабелі.

У 1980 році на Чуломанській ГРЕС «Якутэнерго» під час аварії спалахнула просочена паливом теплоізоляція. У резервуарі мазутного господарства відбувся вибух пари і пожежа поширилася на інші резервуари.

4 листопада 1981 року на Сирдар'їнській ГРЕС відбулася пожежа з обваленням покриття машинного залу площею близько 10 тис. м<sup>2</sup>, причому з вересня цього ж року енергоблок № 4 працював в аварійному режимі з підвищеною вібрацією, сторонніми шумами і стукотом.

У 1983 році в резервуарному парку Київської ТЕС-6 від прямого удару блискавки вибухнули пари в мазутній ємності об'ємом 30 тис. м<sup>3</sup>, результатом чого з'явилося руйнування 9 панелей залізобетонного перекриття.

У жовтні 1984 року на Екібастузькій ГРЕС відбулася пожежа з обваленням покриття машинного залу площею більш 7 тис. м<sup>2</sup>: виведені з ладу 2 енергоблоки по 500 тис. кВт кожний.

У 1986 році на Азербайджанській ГРЕС у місті Мінгечаури відбулося велике загоряння кабелів. Загальна площа горіння на декількох поверхах склала 1200 м<sup>2</sup>.

У 1988 році в резервуарному парку Оршанської ТЕС ВЕО «Белгорэнерго» Білгородської області від внесення відкритого вогню вибухають пари мазуту в резервуарі РВС-4000.

У лютому 1989 року на першому енергоблоці Азербайджанської ГРЕС у місті Мінгечаури відбулася аварія з виникненням пожежі. Вибух турбогенератора (руйнування опорних підшипників і розгерметизація його газомасляної системи) викликав викид і займання оливи і водню. Другим вибухом

зруйнований дах площею 600 м<sup>2</sup>.

12 вересня 1990 року на Екібастузькій ГРЕС відбувається пожежа з обваленням покрівлі над трьома енергоблоками.

28 вересня 1990 року на Сирдар'їнській ГРЕС відбувся відрив лопаток парової турбіни з розгерметизацією і викидом водню: у результаті пожежі обвалився дах у машинному залі; з ладу були виведені теплогенератори потужністю 2 млн. 300 тис. кВт. Цій пожежі передувала робота в аварійному режимі енергоблоку №7 з підвищеним рівнем вібрації опорних підшипників і температурою оливи і низьким значенням вакууму.

17 серпня 2009 – Вибух на Саяно-Шушенській ГЕС. Був повністю зруйнований другий гідроагрегат ГЕС і частково зруйнований машинний зал. Крім того, сильні пошкодження зазнали сьомий і дев'ятий гідроагрегати. Всього ГЕС складається з 10 гідроагрегатів, які перетворюють кінетичну енергію потоку води в електроенергію. У результаті станцію була зупинено, затоплено і зруйновано будівлю машинного залу. Приміщення, зруйноване внаслідок аварії, є одним з ключових на всій ГЕС.

Таким чином, з цього можна зробити висновок, що небезпека ТЕС існує і дуже велика. Небезпека ТЕС обумовлюється наявністю складного паливного господарства, системи для спалювання палива, розгалуженої кабельної мережі і різних допоміжних приміщень, застосуванням оливнонаповненого устаткування й апаратури.

Пожежна небезпека паливного господарства залежить від виду застосовуваного палива. Найбільш небезпечним є виробництво електроенергії на ТЕС із використанням твердого палива. Тверде паливо (бурі і кам'яні вугілля, торф) при зберіганні в штабелях можуть самозайматися. Пил вугілля (крім антрациту і напівантрациту), сланцю, торфу, напівкоксу також схильний при збереженні та транспортуванні до самозаймання. Здатність до самозаймання зростає з підвищенням температури. Пилоповітряні суміші цих видів палива при визначених концентраціях є вибухонебезпечними. Величина нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКМПП) для вугільного пилу становить 80-125 г/м<sup>3</sup>. Небезпека вибуху росте при зменшенні вологості повітря менш 25%.

Горючі гази є найбільш ефективним видом палива (застосовуються: коксовий, доменний, генераторний та ін.) Такі гази з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші. Концентраційні межі поширення полум'я газів такі: доменний – 48-68%; генераторний – 20-74%; коксовий – 5-30%; природний – 4-14%.

Мазут є залишковим продуктом нафтопереробки. Мазут має  $T_{cn}=80-140$  °С (у залежності від марки). Мазут надходить у резервуари, де підігрівається до 90 °С (не вище для нормальної роботи насосів, що перекачують), і потім по самопливних трубопроводах подається до насосів, підігрівається до 110-440 °С, очищується і подається в котельню. На ТЕС в основному застосовується мазут топковий марки М-200.

Котельня установка – одне з головних ланок ТЕС. У котельному цеху одержують водяну пару. З котла пар під тиском  $140-255 \cdot 10^5$  Па і з температу-



рою 565 °С надходить у турбіну. Вибухи і пожежі в котельному відділенні можливі при порушеннях режиму розпалювання і роботи котлів, при аварії мазутопроводів та від інших причин. Можливе загоряння сажі, що утворюється при спалюванні мазуту, газу і відкладається в конвективних шахтах, повітропідігрівниках і газоходах котлів.

Пожежна небезпека машинного залу визначається великою кількістю циркулюючої оливи (пожежна небезпека оливосистем), застосуванням водню для охолодження генераторів, наявністю горючих мастил, ізоляції обмоток генератора в сполученні з високонагрітими паропроводами,

Трансформаторна олива ( $T_{cn}=135^{\circ}\text{C}$ ) що застосовується в електроустановці, має гарні ізоляційні властивості: завдяки малої в'язкості, воно глибоко проникає в пори волокнистої ізоляції, підвищуючи її електричну здатність. Однак під впливом вологи, кисню, сонячного світла, високих температур олива старіє, руйнується, у ньому з'являються смолисті речовини, що знижують температуру спалаху і температуру самоспалаху оливи. При виникненні електричної дуги в оливонаповненому апараті, олива розкладається на метан, водень, ацетилен з утворенням з повітрям вибухонебезпечних сумішей. Найбільша кількість оливи витрачається для змащення турбогенераторів і насосів. Для ущільнення, змащення й охолодження підшипників генераторів безупинно подається велика кількість турбінної оливи ( $T_{cn} = 180^{\circ}\text{C}$ ). Особливо багато оливи подається на гідроагрегати, де знаходиться 10-15 тон оливи.

Велике оливне господарство парових турбін містить значну потенційну небезпеку виникнення пожежі. Турбіни працюють за високих температур, що досягають температури самоспалаху олив. Небезпека пожежі на ТЕС існує при усмоктуванні оливи ізоляцією паропроводу з наступним його окислюванням і самозайманням.

Основними причинами небезпеки турбогенераторів є:

- підвищений тиск оливи в системах регулювання;
- збільшення довжини оливопроводів;
- ускладнення схеми регулювання і захисту;
- підвищення температури паропроводів, корпусу турбіни і парових клапанів.

Загоряння оливи звичайно відбувається, коли при руйнуванні або ослабленні через вібрацію оливний трубопровід мастило витікає або розпорошується з них на гарячі ділянки паропроводів. На силових трансформаторах причиною виникнення горіння є внутрішні ушкодження, що виникають у результаті короткого замикання, зносу і загоряння ізоляції, а також погіршення якості трансформаторної оливи. При великій потужності короткого замикання (особливо між фазами) відбувається бурхливе виділення газів, що призводить до ушкодження корпусу і викиду оливи назовні з розливом палаючої оливи на велику площу.

Велику техногенну небезпеку представляють генератори з водневим охолодженням. При роботі статор, ротор і інші частини генератора нагріва-

ються і тепло відводиться системою охолодження і вентиляцією генераторів.

*Охолодження генераторів буває:*

*повітряне* (менш ефективне – малий коефіцієнт теплопровідності і значна густина, крім того, при електричних пробоях обмоток, коротких замиканнях, що супроводжуються підвищенням температури, появою іскор, виникає горіння, що підсилюється при надходженні повітря);

*водяне* (найефективніше – тепловіддача в 40-50 разів більше в порівнянні з водневим, але не завжди застосовується).

У гідрогенераторах застосовують повітряне або водяне охолодження. У турбогенераторах потужністю 25 МВт і вище – водень при надлишковому тиску  $0,05-3 \cdot 10^5$  Па.

Водневе охолодження більш ефективне в порівнянні з повітряним, його теплопровідність у 7,2 рази вище, а густина у 14 разів менше, ніж у повітря. Крім того, у чисто водневому середовищі горіння ізоляції обмоток неможливо, але водень з киснем повітря утворює вибухонебезпечні суміші. Тому проникнення повітря в корпус турбогенератора або витік водню із системи охолодження можуть привести до вибуху або пожежі. Вибухонебезпечною є суміш при вмісті водню в повітрі від 4 до 75%. Причиною вибуху може бути займання водню при виході під тиском з вузької щілини або іскріння на шинах.

У розподільчих пристроях і підстанціях пожежну небезпеку представляють основне електроустаткування, застосовуване в розподільчих пристроях і на підстанціях: вимикачі, трансформатори, реактори, роз'єднувачі, контрольно-вимірювальні прилади (КВП).

Найбільшу небезпеку представляє оливонаповнене електроустаткування. При розмиканні контактів під впливом високої температури електричної дуги (понад 3000 °С) олива розкладається, виділяючи горючі газу, основну частину яких складає водень (70%). Ці газу в оливі не горять. Небезпеку представляє протікання оливи через щілини в кожусі або в результаті дефектів гумових ущільнень. Продукти розкладання оливи можуть утворювати з повітрям вибухонебезпечну суміш.

Застосування на ТЕС турбо- і гідрогенераторів потужністю 30 МВт і більш збільшує число силових і контрольних кабелів, тому що це викликає необхідність застосування високих температур, підвищених тисків і підвищеної напруги. Майже всі кабелі мають горючу ізоляцію (кабельний папір, полівінілхлорид, гума, мінеральна олива, поліетилен, джут). При аварії від розплавленого металу і тепла, що виділяється при короткому замиканні, відбувається запалювання горючої ізоляції як ушкодженого так і сусіднього кабелів. Пожежі у кабельних приміщеннях і спорудах характеризуються складністю обстановки при їхньому гасінні і важких наслідках, тому що призводять до припинення подачі електроенергії до різних об'єктів.

*Ядерний реактор має наступні системи управління та захисту*

Система автоматичного регулювання потужності ЯР (САР) – представ-

ляє собою сукупність приладів та пристроїв для автоматичного управління процесами пуску, підтримання та зміни рівня потужності ЯР.

Система компенсації реактивності ЯР (СКР) – представляє сукупність приладів та пристроїв для компенсації повільних змін реактивності ЯР, що обумовлені вигорянням ядерного палива, температурними та іншими факторами.

Система аварійного захисту ЯР (САЗ) – сукупність приладів та пристроїв, що зупиняють реакцію або знижують реактивність ЯР до безпечного рівня на випадок аварійного порушення режиму роботи ЯР. Спрацьовування САЗ здійснюється при відхиленні від норми наступних параметрів:

- підвищення нейтронного потоку;
- перевищення швидкості розбігу реактора;
- вихід із ладу органів управління;
- відключення живлення циркуляційних насосів;
- надмірне підвищення температури теплоносія;
- зниження тиску в контурі;
- підвищення активності в робочих приміщеннях тощо.

Система радіаційного захисту попереджує можливий викид радіоактивних речовин продуктів поділу урану і являє собою захисну оболонку: герметичну залізобетонну попередньо напружену сталевими тросами оболонку у виді кулі або циліндра, що витримує тиск в декілька бар. Товщина залізобетонної стінки оболонки – 1,2 м, з внутрішнього боку має герметичне металеве облицювання товщиною 8 мм. Гермооболонка виконана з армованого бетону, що витримує падіння літака-випробувача типу «МіГ», землетрус силою 7 балів, дію ударної хвилі від вибуху 5 тон тротилу на відстані 200 м. У разі підвищення тиску в оболонці здійснюють барботаж (перемішування) пари через басейн з водою або конденсацію пари за допомогою льоду. На випадок аварії оболонка заповнюється борною водою; стінка оболонки твела, яка виготовлена з цирконієвого сплаву, перешкоджає вихід радіоактивних уламків ядерного поділу в теплоносій 1-го контуру; паливна таблетка затримує в собі рухи практично всіх уламків поділу. Також містить в собі ЯР та обладнання, яке примикає до нього, здатного локалізувати радіоактивні речовини при виникненні максимальної проектної аварії.

**Висновок.** Виробництво енергії на ТЕС і АЕС є технічно складним, пожежо- вибухо- та аварійно небезпечним. Виробництво електроенергії є складним і небезпечним процесом і залежить від способів виробництва, які мають свої особливості і обумовлюють вибір систем захисту.

### **Питання для самоконтролю**

1. Що собою представляє електрична станція? Назвіть основні види отримання електричної енергії в Україні.
2. В чому полягає технологічний процес отримання електричної енергії на ТЕС?

3. Назвіть основні фізико-хімічні властивості речовин, які обертаються на НЕС.
4. В чому полягає техногенна небезпека отримання електричної енергії на ТЕС?
5. Які АЕС працюють в Україні? Надати характеристику.
6. Назвіть основні етапи отримання електричної енергії на АЕС.
7. В чому полягає небезпека проведення технологічного процесу отримання електричної енергії на АЕС?
8. Які найнебезпечніші споруди АЕС ви знаєте?
9. Перелічити системи управління та захисту на АЕС.

#### **Рекомендована література**

1. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 26.09.2018 №491 «Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України».
2. ВБН В.1.1-034-2003 (НАПБ 03.005-2002, ГНД 34.03.307-2004, ВБН В.1.1-034-03.307-2003) Протипожежні норми проектування атомних електростанцій з водо-водяними енергетичними реакторами.
3. Наказ Міністерства палива та енергетики України від 30 травня 2007 року № 256 «Про затвердження Правил пожежної безпеки при експлуатації атомних станцій».

*Навчальне видання*

**Олійник Володимир Вікторович  
Саєнко Наталія Вячеславівна**

**БЕЗПЕКА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ТА ВИРОБНИЦТВ**

*Курс лекцій*

Підписано до друку 30.11.2023. Формат 60x84 1/16.  
Умовн.-друк. арк. 11,8.  
Вид. № 67/23.

Сектор редакційно-видавничої діяльності  
Національного університету цивільного захисту України  
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.  
[www.nuczu.edu.ua](http://www.nuczu.edu.ua)