

МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
ТА У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД НАСЛІДКІВ  
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ

АКАДЕМІЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

О.П.Михайлюк, В.В.Олійник, Г.О.Мозговий

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ  
ПОЖЕЖНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА АПАРАТІВ

Навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів

Харків 2004

**УДК 628. 658. 512 (07)**

**ББК 38.96**

**М 69**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (лист від 21.05 .2004 р. за № 14/18.2-1053)*

**Рецензенти:** О.М. Тищенко, кандидат технічних наук, проректор з наукової роботи Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України;  
Т.Б. Юзьків, кандидат технічних наук, начальник кафедри пожежної профілактики Львівського інституту пожежної безпеки МНС України;  
В.М. Альбошій, кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного відділу №1 (м. Харків) УкрНДІПБ МНС України.

Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О.

**Теоретичні** основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. Навчальний посібник – Харків, 2004. – 407с.

Навчальний посібник відповідає програмі підготовки фахівця освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр" з напрямку 0928 "Пожежна безпека" на базі повної загальної середньої освіти. У посібнику викладена загальна методика виявлення причин виникнення пожеж і вибухів у технологічних процесах і апаратах та основні напрямки їх протипожежного захисту.

Навчальний посібник призначений для курсантів, студентів, слухачів, що навчаються у вищих навчальних закладах пожежно-технічного профілю. Також може бути корисним широкому колу фахівців, які займаються профілактикою пожеж на виробництві.

**УДК 628. 658. 512 (07)**

**ББК 38.96**

© Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. 2004

© Академія цивільного захисту України, 2004

## ПЕРЕДМОВА

Однією з найважливіших задач, які стоять сьогодні перед Україною, є забезпечення захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Актуальність проблеми забезпечення природно-техногенної безпеки обумовлена стійкими тенденціями росту втрат людей та збитків територіям, що причиняється небезпечними природними явищами (стихіями), промисловими аваріями і катастрофами. Основними причинами екологічно небезпечних аварій на виробництві продовжують залишатися грубі порушення вимог безпеки керівниками робіт, спеціалістами та персоналом, відступи від встановлених технологій і регламентів, конструктивні недоліки та несправність обладнання, машин, механізмів, невірні інженерні рішення, відсутність надійних систем попередження і локалізації аварій, пожеж, приладів контролю і засобів захисту та інші. Особливо небезпечними є виробництва за наявності великої кількості пожежовибухонебезпечних речовин та матеріалів, на яких виникнення навіть локальних пожеж або вибухів при несприятливому збігу обставин може привести, завдяки ланцюговому розвитку, до катастрофічних масштабів.

В цих умовах важливою задачею є підвищення пожежної безпеки в країні, невід'ємною часткою якої є пожежна профілактика на промислових та сільськогосподарських об'єктах, а також підготовка висококваліфікованих фахівців пожежної безпеки, здатних виконувати цю складну роботу.

Даний навчальний посібник відповідає навчальній програмі курсу „Пожежна профілактика технологічних процесів” для підготовки фахівця освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр" з напрямку 0928 "Пожежна безпека" на базі повної загальної середньої освіти і призначений для курсантів, студентів, слухачів, що навчаються у вищих навчальних закладах пожежно-технічного профілю.

Актуальність підготовки навчального посібника обумовлюється відсутністю в Україні в даний час навчальних посібників для підготовки фахівців за цим напрямком. Посібник відображає зміст професії фахівця пожежної безпеки на основі системного підходу до оцінки вибухопожежонебезпеки технологічних процесів і апаратів та засвоєння принципів забезпечення їх пожежної безпеки.

Зміст навчального посібника містить 9 глав, в яких розглядаються основні теоретичні положення утворення горючого середовища в технологічному обладнанні та у виробничих приміщеннях, умови виникнення джерел запалювання та поширення полум'я з наступним обґрунтуванням та визначенням заходів пожежної профілактики.

Дисципліна „Пожежна профілактика технологічних процесів” склалася і розвивається на стику наук про технологію виробництв та про пожежу і тісно пов'язана з фундаментальними науками – фізикою, хімією, математикою, механікою й іншими науками, а також із спеціальними дисциплінами „Пожежною профілактикою в населених пунктах”, „Теорією розвитку та припинення горіння”, „Пожежною автоматикою”, „Пожежною тактикою” та іншими. Цей зв'язок знайшов відображення в даному посібнику.

Навчальний посібник „Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів” написали: передмова, гл.1-5 – к.х.н., доцент О.П. Михайлюк, гл. 6 – к.т.н. Олійник В.В., гл.7-9 – викладач кафедри пожежної профілактики технологічних процесів виробництв Г.О.Мозговий.

# ГЛАВА 1. МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

При виконанні різних видів пожежно-профілактичної роботи об'єктивною основою визначення вимог пожежної безпеки, що пред'являються до конкретного виробництва, є його пожежовибухонебезпека. Принципи та методи оцінки пожежовибухонебезпеки виробництв та виробничих об'єктів визначені в нормативних документах, в системі стандартів безпеки праці. В даній главі розглядаються методи дослідження та оцінки пожежовибухонебезпеки процесів.

## 1.1 Методика вивчення технології виробництв

Фахівець пожежної безпеки повинен вивчити основні технологічні процеси (операції) та роботу технологічного обладнання в такій мірі, щоб мати можливість оцінити їх пожежну небезпеку, визначити необхідні заходи щодо її запобігання. Для цього необхідно знати основні поняття та визначення технології виробництв, вміти орієнтуватись в технологічній схемі виробництва, володіти методами вивчення технології виробництв.

### 1.1.1 Основні технологічні поняття та визначення

Споконвіків людина для задоволення своїх потреб у їжі, одязі, житлі та засобах праці щось переробляла. Зерно – на борошно, борошно – на хліб, шкіру – на одяг і взуття, глину – на посуд, а згодом і на житло; руди – на метали і сплави, а потім – на вироби.

З часом перероблювані речовини стали називати **сировиною**. Вироби, отримані в процесі перероблення сировини, називали **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 каталізічним 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 оброблення 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 на невеликій площі складального цеху. 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.

Яку б продукцію не виробляли на підприємстві, все підпорядковане технології. Отже, технологія є основою виробництва.

**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.

**Виробничим процесом** називають сукупність дій, пов'язаних з прогнозуванням, науково-технічним і конструкторським розробленням, проектуванням, транспортуванням і зберіганням сировини, виготовленням проміжної (напівпродукції) та готової продукції, її випробуванням, пакуванням, обліком та зберіганням, ремонтом обладнання тощо.

Як бачимо, до складу виробничого процесу входить виготовлення проміжної та готової продукції. А це належить до технологічного процесу. Отже, технологічний процес є складовою частиною виробничого процесу.

**Технологічним процесом** називають 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 змінюються 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. Наприклад, технологічний процес складання автомобільного двигуна, з одного боку, можна поділити на дрібніші, які відрізняються один від одного: технологічні процеси складання шатунно-поршневої групи, блока циліндрів або коробки зміни

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).

Технологічні процеси постійно вдосконалюються. Це зумовлено тим, що продукцію, яку виробляють на підприємстві, періодично поліпшують. Крім того, наука, техніка та технологія пропонують нові, ефективніші способи оброблення та перероблення сировини, нове, продуктивніше обладнання та інструменти.

Таблиця 1.1-Терміни і визначення в технологічних процесах

Термін	Визначення	Приклад
<b>Технологічна система</b>	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.
<b>Технологічний об'єкт</b>	Це частина технологічної системи, що містить об'єднану територіально і пов'язану технологічними потоками групу апаратів.	Атмосферно-вакуумна трубчатка нафтопереробного заводу.
<b>Технологічний блок</b>	Апарат або група апаратів (з мінімальним числом), що у заданий час можуть бути відключені (ізольовані) від технологічної системи без небезпечних змін режиму в суміжній апаратурі або системі.	Трубчаста піч, що використовується на нафтопереробному заводі для нагрівання нафти.



## 1.1.2 Класифікація основних технологічних процесів та апаратів

**Технологічні процеси класифікуються за:**

- властивостями сировини, які змінюються в процесі її перероблення;
- агрегатним станом сировини;
- тепловим ефектом;
- напрямом руху сировинних і теплових потоків у агрегатах;
- способом організації процесу;
- кратністю оброблення 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 перероблення, всі технологічні процеси поділяють на **фізичні, механічні та хімічні**. Такий поділ дещо умовний, оскільки не можна провести між ними чіткої межі. Проте такий поділ існує, оскільки полегшує вибір найефективнішого способу перероблення 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 добувна промисловість (за винятком деяких геотехнологічних способів добування корисних копалин), деревообробна промисловість, виготовлення з конструкційних матеріалів виробів литтям, тиском, різанням тощо. Ці процеси лежать в основі підготовки сировини до перероблення, а також в основі розділення отриманої продукції на основну і побічну та відходи.

До фізико-механічних процесів належать подрібнення, тепло- та масоперенесення.

**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 зумовлене 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<sub>2</sub>), розжареним коксом (C) і флюсом (CaCO<sub>3</sub>) – з іншого. Унаслідок цих реакцій утворюються чавун, шлак і домновий 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 газовому.

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

**Гетерогенними** процесами називають такі технологічні процеси, коли всі реагуючі речовини перебувають у різних агрегатних станах: газовому і рідинному, твердому і рідинному, твердому і газовому 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 вбирається 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 приводить до втрат робочого часу та великих затрат праці. Крім того нестабільність технологічного режиму (температура, тиск тощо) на початку і в кінці процесу ускладнює обслуговування агрегату, утруднює 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 аж до ремонту агрегату.

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 нестаціонарних 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 гідродинаміки. Основні апарати: насоси, компресори тощо (рис.1.2);

- на **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);

- на **масообмінні (дифузійні) процеси** (сорбція, фарбування, сушіння, перегонка), що описуються законами масопередачі (рис.1.1). Рушійною силою процесів масообміну є різниця концентрацій. Основні апарати: абсорбери, адсорбери, фарбувальні камери, сушильні камери - парові, димогазові, петролатумні; ректифікаційні колони тощо (рис.1.2);

- на **гідромеханічні процеси** (рис.1.1), що пов'язані з обробкою неоднорідних систем – рідин та газів із зваженими в них твердими або рідкими частками (переміщення газів, рідин – самопливом, передавлюванням; стиснення газів за допомогою компресорів та насосів; відстоювання, центрифугування, фільтрування, перемішування рідин із використанням змішувачів, центрифуг та інших апаратів (рис.1.2). Описуються гідромеханічні процеси законами гідродинаміки. Рушійною силою процесів є різниця тисків;

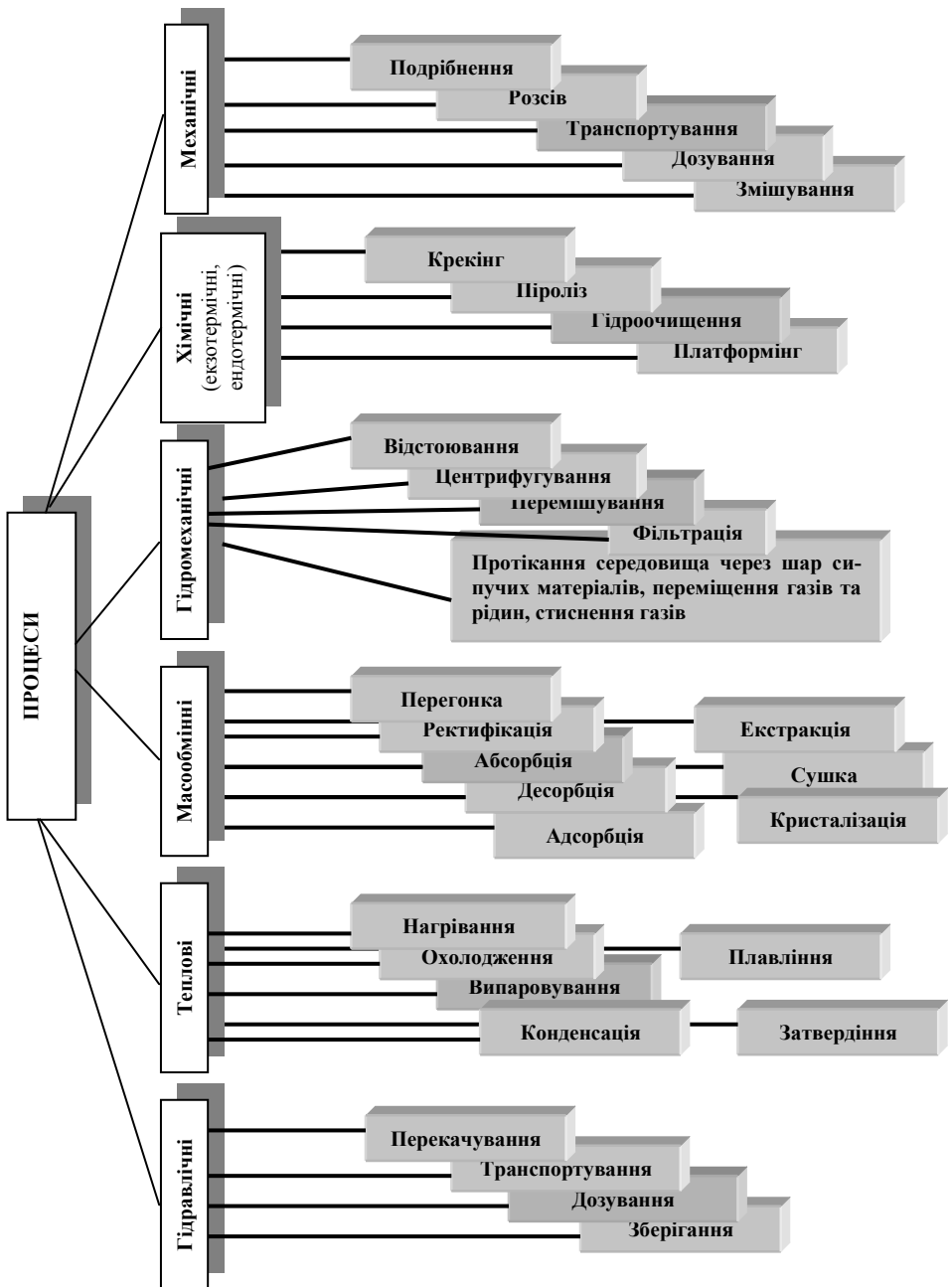


Рисунок 1.1- Класифікація типових технологічних процесів

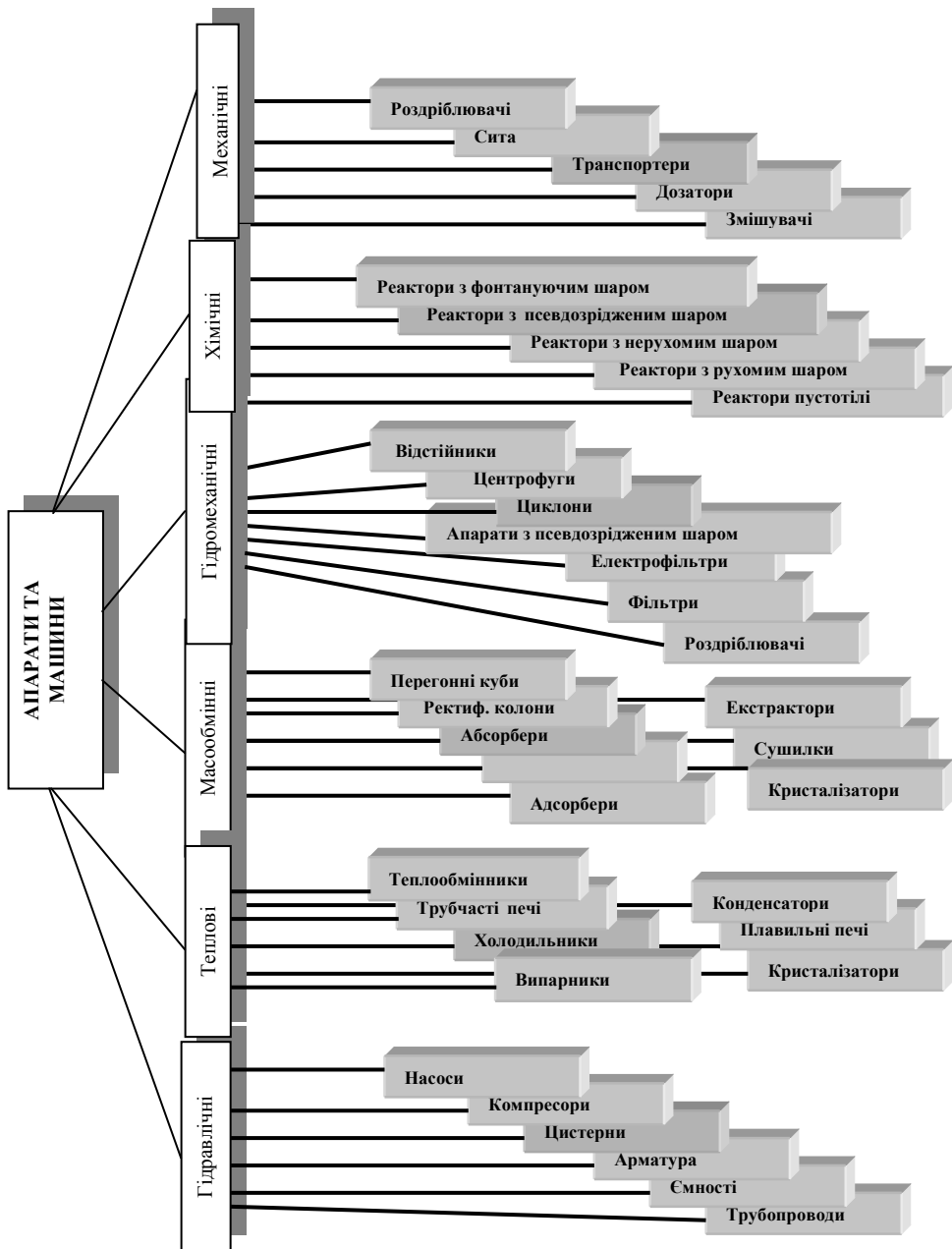


Рисунок 1.2 - Класифікація апаратів (машин) для проведення типових процесів

- на **механічні процеси**, що пов'язані з обробкою твердих матеріалів (транспортування, подрібнення, перемішування, сортування твердих речовин) і описуються законами механіки твердих тіл (рис.1.1). Технологічне обладнання: конвеєри, елеватори, дробарки тощо (рис.1.2). Рушійною силою процесу є прикладене до тіла зусилля або напруга;

- на **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 (рис.1.2).

### **1.1.3 Методика вивчення технологічних процесів виробництв**

Аналіз пожежної небезпеки промислових та сільськогосподарських об'єктів нерозривно пов'язаний із детальним розглядом технології виробництва. Тому спеціаліст пожежної безпеки 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 виробництв є **технологічна частина проекту** (на стадії проектування виробництва) і **технологічний регламент** (на стадії експлуатації виробництва).

**Технологічна частина проекту.** Необхідно мати на увазі, що проектні матеріали, як правило, не відображають повною мірою того, що буде в дійсності, тому що в ході будівництва виробництва його проект звичайно піддається істотним змінам. Технологічна частина проекту складається з розрахунково-пояснювальної записки і креслень.

#### **Розрахунково-пояснювальна записка містить:**

- опис принципової технологічної схеми виробництва;

- характеристику й обґрунтування основних технологічних рішень та технологічних процесів;
- обґрунтування вибору основного технологічного обладнання та прийняті варіанти його розміщення;
- перелік виробничих процесів, для яких проектується автоматизація;
- обґрунтування прийнятих у проекті рішень із застосування контрольно-вимірювальних приладів та автоматів (автоматичний контроль, регулювання, блокування, захист) у технологічних процесах й апаратах;
- обґрунтування й характеристику джерел та споживачів електричної і теплової енергії);
- матеріальні та технологічні розрахунки;
- вид і кількість стандартного та нестандартного обладнання.

**Графічний матеріал технологічної частини проекту містить:**

- креслення принципової схеми технологічного процесу;
- схеми технологічних трубопроводів і комунікацій;
- функціональні виробничі схеми або переліки систем автоматизації;
- плани і розрізи виробничих будівель та установок із розміщенням технологічного обладнання і транспортних засобів;
- схеми електропостачання і теплових мереж, що наносяться, як правило, на зведеному плані інженерних мереж.

Технологічна частина проекту може також містити: розділ “Охорона праці” або спеціальний розділ “Протипожежні заходи”, у яких повинна бути наведена узагальнена характеристика пожежної небезпеки виробництва і проектні технічні рішення, що прийняті для усунення або зниження цієї небезпеки.

**Технологічний регламент** - основний технологічний документ, що визначає порядок проведення операцій технологічного процесу. Дотримання вимог технологічного регламенту, які забезпечують якість продукції, що випускається, раціональне ведення технологічного процесу, збереження обладнання та безпеку роботи, є обов'язковим.



Технологічні регламенти можуть бути:

- постійними (на діючих виробництвах);
- тимчасовими (на нових виробництвах, а також на виробництвах, до технології яких внесені принципові зміни);
- разовими (на дослідних виробництвах).

Будь-які зміни або доповнення діючих технологічних регламентів повинні затверджуватися тією інстанцією, якою затверджено регламент.

В якості прикладу наведемо типовий технологічний регламент виробництва хімічної промисловості. В нього входять:

- загальна характеристика виробництва;
- характеристика продукції, що виготовляється;
- характеристика сировини, матеріалів та продуктів;
- опис технологічного процесу;
- норми технологічного режиму;
- можливі неполадки, їх причини та способи усунення;
- щорічні норми витрати сировини та енергоресурсів;
- контроль виробництва;
- основні правила безпечного ведення процесу;
- відходи виробництва, стічні води, викиди в атмосферу;
- перелік обов'язкових інструкцій;
- матеріальний баланс;
- технологічна схема виробництва;
- специфікація основного технологічного обладнання.

Технологічний регламент вміщує вичерпну інформацію, яка необхідна для вивчення технології даного виробництва, дослідження його пожежної небезпеки та розробки заходів пожежної профілактики.

До складу технологічної частини проекту і технологічного регламенту входить повна або принципова схема виробництва, за якою можна уявити технологічний процес, що аналізується, і в цілому оцінити його пожежну небезпеку.

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

**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.

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 указівки 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.

Принципова технологічна схема дозволяє одержати інформацію про фізико-хімічну сутність процесів, отже, частину вихідних даних для дослідження пожежної небезпеки 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. На схемі таких ділянок три (виділені пунктирними лініями): I - ділянка підготовки вихідної сировини;

II - ділянка нагрівання продукту; III - ділянка ректифікації нафти і відбір необхідних фракцій.

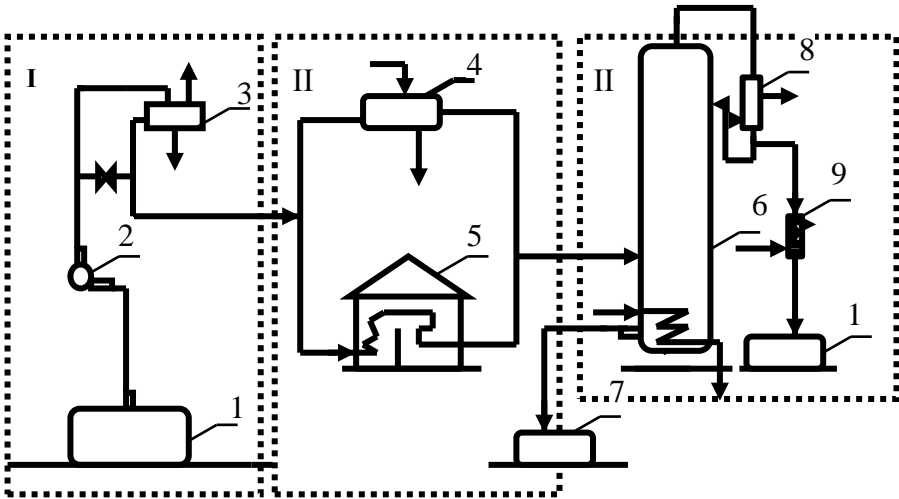


Рисунок 1.3 - Технологічна схема безперервно діючої ректифікаційної установки

1 – ємність з вихідним продуктом (нафта); 2 – насосна станція; 3 – підігрівач; 4 – теплообмінник; 5 – трубчаста піч; 6 – ректифікаційна колона; 7 – збірник важких нафтопродуктів; 8 – дефлегматор; 9 – холодильник; 10 – збірник ректифікату

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

Якщо при проведенні пожежно-технічного обстеження або експертизі 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 проектної організації, і підприємства, і пожежної безпеки.

При розробці принципової технологічної схеми слід дотримуватись наступних рекомендацій:

- показувати тільки одну з декількох однотипних технологічних ліній;

- показувати тільки одну з декількох однотипних операцій або один із декількох паралельних (або послідовних) однотипних апаратів;

- виключити резервне устаткування;

- виключити або спростити системи регенерації (утилізації) тепла;

- виключити обв'язку апаратів додатковими трубопроводами;

- виключити контрольно-вимірювальні прилади та автоматику;

- виключити всі захисні прилади й пристрої.

Але ні принципова, ні повна технологічна схема не дають уявлення про технологію виробництва, достатнього для повного аналізу його пожежної небезпеки. Виникнення та розвиток пожежі на виробництві визначається не тільки характером технологічного обладнання, але і розміщенням його в будівлі або на відкритому технологічному майданчику, габаритами тощо. Тому важливим джерелом інформації про виробництво є його реальне розміщення. В документації, що описує реальне розміщення виробництва, містяться відомості про дійсну кількість однакових технологічних ліній, про однотипні технологічні апарати, що застосовуються в процесах багатократно, про апарати однакового призначення, про резервне обладнання тощо. Зокрема, вказуються:

- основні технологічні апарати (кількість, конструкція, ємність);

- основні транспортні комунікації (конструкція, протяжність);

- технологічні потоки речовин та матеріалів, що обертаються у виробництві;

- місця проміжного та базисного зберігання матеріалів (їх вид та кількість);

- будівельні конструкції, проходи, отвори, розриви;

- робочі місця людей (їх кількість);

- місця концентрації матеріальних цінностей.

Для наступного визначення особливо небезпечних ділянок за загрозою для життя людей та можливими матеріальними збитками на плані чітко визначаються межі та площі характерних ділянок; кількість одночасно працюючих на них людей; вартість технологічного обладнання, матеріалів та готової продукції.

## **1.2 Основні напрямки дослідження пожежної безпеки технологічних процесів виробництв**

В системі стандартів безпеки праці (ССБП) загальні вимоги до забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів виробництв та виробничих об'єктів відображені в ГОСТ 12.1.004-91. Цей документ дає визначення пожежної безпеки як стану об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а у випадку її виникнення запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі та забезпечується захист матеріальних цінностей. Згідно вимог даного стандарту, пожежна безпека об'єкта регламентується відповідними ДБНами, міжгалузевими правилами пожежної безпеки та інструкціями, затвердженими міністерствами і відомствами.

**Пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватись [1]:**

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

**Система запобігання пожежі** - комплекс організаційних заходів та технічних засобів, що направлені на виключення можливості виникнення пожежі. Вона повинна розроблятися на кожному конкретному об'єкті з розрахунку, що нормативна ймовірність виникнення пожежі приймається рівною не більше 0,000001 в рік з розрахунку на окремий пожежонебезпечний елемент даного об'єкта.

**Система протипожежного захисту** – комплекс організаційних заходів та технічних засобів, що направлені на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріального збитку від неї. Система протипожеж-

ного захисту повинна розроблятися на кожному конкретному об'єкті з розрахунку, що нормативна ймовірність впливу небезпечних факторів на людей приймається рівною не більше  $0,000001$  в рік з розрахунку на окрему людину.

Пожежна безпека об'єкта повинна бути забезпечена як в робочому стані, так і у випадках виникнення аварійної ситуації.

Для визначення відповідності стану пожежної безпеки виробництва нормативним вимогам необхідно провести дослідження пожежної небезпеки даного виробництва, визначити заходи захисту з урахуванням сукупності всіх факторів, що впливають на виникнення та розвиток пожежі.

**Дослідження пожежної небезпеки технологічних процесів виробництв включає наступні етапи:**

- визначення пожежовибухонебезпеки речовин та матеріалів, що обертаються на виробництві;
- дослідження небезпеки виникнення пожежі;
- дослідження небезпеки її поширення;
- визначення можливого матеріального збитку;
- дослідження небезпеки для життя людей.

Визначення пожежовибухонебезпеки речовин та матеріалів, що обертаються на виробництві, починають з встановлення основних показників їх пожежної небезпеки (горючості, температури спалахування, температури самоспалахування, температури спалаху, нижньої та верхньої температурних меж поширення полум'я, нижньої та верхньої концентраційних меж поширення полум'я тощо), а також з визначення їх фізико-хімічних властивостей, що впливають на умови виникнення та розвитку пожежі (тиску, температури).

Відомості про пожежну небезпеку тих чи інших матеріалів звичайно одержують із відповідних нормативних документів на речовини та матеріали, а також з довідників та інших інформаційних джерел. Якщо ж дані про властивості якого-небудь матеріалу відсутні, їх можна визначити розрахунком або експериментально за стандартними методиками [2].

При вивченні характеристик пожежовибухонебезпечних речовин та матеріалів, що обертаються в технологічних

процесах виробництв, необхідно визначити, яким чином вони розподіляються на різних ділянках даного виробництва.

Дослідження небезпеки виникнення пожежі складається з встановлення можливості одночасної появи на виробництві трьох компонентів: горючого матеріалу, окисника та джерела запалювання.

У більшості випадків на виробництвах окисником є кисень повітря з навколишнього середовища. Можливість його контакту з горючою речовиною залежить від ступеня герметичності технологічного обладнання. Джерела запалювання на виробництві можуть бути технологічними, природними (наприклад, удар блискавки) або як наслідок необережного поводження людей з вогнем.

При дослідженні небезпеки виникнення пожежі необхідно встановити: можливість утворення горючого середовища усередині обладнання за умов його нормальної роботи, в періоди пуску та зупинки; можливість утворення горючого середовища в приміщеннях та на відкритих майданчиках при виході горючих речовин з нормально працюючого обладнання; можливість пошкодження обладнання з виходом з нього горючих речовин та утворенням горючого середовища в приміщеннях і на відкритих майданчиках; можливість появи та контакту з горючим середовищем джерел запалювання.

Дослідження небезпеки поширення пожежі полягає в установленні можливих розмірів різних зон пожежі (зони горіння, зони випромінювання, зони задимлення, зони вибуху), дія яких може призвести до тяжких наслідків: людських жертв та матеріального збитку. Вихідними даними для розрахунку розмірів зон пожежі є, по-перше, місця найбільш ймовірного виникнення пожежі від технологічних причин; по-друге, місця виникнення пожежі від природного джерела запалювання; по-третє, місця виникнення пожежі через необережне поводження з вогнем. За великої площі виробничої ділянки необхідно розглянути розвиток пожежі з декількох вихідних пунктів, враховуючи конкретні особливості виробництва (різні приміщення, різні ділянки, різну концентрацію матеріалів, цінностей тощо).

Можливі шляхи поширення пожежі - це перш за все горючі матеріали, які відкрито зберігаються та відкрито обробляються, транспортні комунікації, технологічне обладнання, матеріали (рідини), що розтікаються, а також вибухова хвиля. В розрахунках поширення пожежі необхідно виходити з умов максимального перевантаження виробництва горючими матеріалами, а на виробництві з герметичним обладнанням – з можливої аварійної ситуації, коли серйозно пошкоджено технологічне обладнання з виходом горючих речовин в приміщення або на відкритий майданчик. Зона вибуху пароповітряної суміші, яка утворюється усередині виробничого приміщення, може бути прийнята рівною площі приміщення. Розрахунки зон вибухів, що виникають усередині технологічного обладнання, детонаційних вибухів та вибухів вибухових речовин виконують спеціальними методами.

Для визначення можливого матеріального збитку виходять перш за все з того, що основна частка матеріального збитку від пожеж на виробництві приходить на технологічне обладнання, технологічні матеріали та готову продукцію.

Характер матеріального збитку в різних зонах пожежі різний. В зоні горіння – це згорання матеріалів, втрата обладнанням механічної міцності через надмірний перегрів; в зоні випромінювання – надмірний перегрів обладнання та матеріалів, втрата ними механічної міцності або інших цінних властивостей; в зоні задимлення – шкідливий вплив продуктів згорання на обладнання та матеріали; в зоні вибуху – руйнування обладнання від впливу вибухової хвилі або обвалення будівельних конструкцій після вибуху.

Дослідження безпеки для життя людей полягає в тому, щоб з врахуванням розміщення, кількості та службових функцій людей установити небезпечні фактори, які впливають на людей, оцінити можливість виходу людей з небезпечної зони або оцінити можливість захисту людей від дії небезпечних факторів пожежі на робочих місцях. Необхідно детально проаналізувати можливі причини загибелі людей в різних зонах пожежі. В зоні горіння – це згорання або перегрів людини; в



зоні випромінювання – також перегрів людини; в зоні задимлення – задуха від недостатку кисню, вдихання токсичних продуктів горіння, втрата видимості; в зоні вибуху – тяжкі тілесні ушкодження від удару вибухової хвилі, обвалення конструкцій та розлітання уламків.

Загроза для життя людей та заходи захисту від цієї загрози повинні бути досліджені незалежно від кількості людей, які обслуговують дане виробництво. Повинна бути розрахована ймовірність впливу небезпечних факторів пожежі на кожну людину. Кількість людей необхідно враховувати у заходах захисту, що передбачаються: ширині шляхів евакуації, способах евакуації, розмірах захисних кабін тощо.

Для зручності при дослідженні пожежної небезпеки виробництва можна користуватися наступною методикою.

### **Методика аналізу пожежної небезпеки виробництва.**

1. Вивчення сутності технологічного процесу (режиму роботи обладнання, параметрів процесу тощо).

2. Дослідження фізико-хімічних та пожежовибухонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, що обертаються в технологічному процесі, та їх кількості.

3. Аналіз можливості утворення горючого середовища:

а) за нормальних умов роботи технологічного обладнання;

б) при пошкодженнях і аваріях.

4. Аналіз можливості виникнення в горючому середовищі джерела запалювання.

5. Аналіз умов та шляхів поширення пожежі на випадок її виникнення.

6. Аналіз причин, що утруднюють евакуацію людей і матеріальних цінностей при пожежі та гасіння самої пожежі.

Більш глибоко дослідження пожежної безпеки технологічних процесів та апаратів проведено в наступних главах даного посібника.

### **Контрольні питання:**

1. Дати визначення понять: “технологія”, “технологічний процес”, “технологічна система”, “технологічний об’єкт”, “технологічний блок”.

2. Назвати ознаки, за якими класифікуються технологічні процеси.

3. Джерела інформації про технологічні процеси виробництва.

4. Технологічний регламент та його склад.

5. Чим відрізняється повна технологічна схема від принципової?

6. Для чого фахівцю пожежної безпеки необхідні відомості про технологію виробництва?

7. Назвати основні напрямки дослідження пожежної безпеки технологічних процесів виробництва.

8. Розкрити сутність системи забезпечення пожежної безпеки об’єктів.

## ГЛАВА 2. ОЦІНКА ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ СЕРЕДОВИЩА УСЕРЕДИНІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

На промислових, сільськогосподарських та інших підприємствах зберігаються і переробляються різні за фізико-хімічними та пожежонебезпечними властивостями рідкі, тверді та газоподібні речовини. Кожна з цих груп має свої особливості. Наприклад, рідини можуть знаходитися і в герметично закритих, і у відкритих ємностях, а гази, в тому числі і скраплені, - тільки в герметично закритих апаратах. Пружність пари рідини над її дзеркалом в апараті наближається або дорівнює тиску насиченої пари за даною температурою, в той час як концентрація газів в апаратах від температурного режиму роботи не залежить.

Тверді речовини та матеріали у більшості випадків зберігаються та обробляються відкрито, тобто без спеціального укриття та ізоляції. В тих випадках, коли речовини здатні до самозаймання в повітрі або процес їх обробки супроводжується утворенням пилу та продуктів розкладання, обробку твердих речовин здійснюють без доступу повітря або в закритих апаратах з місцевими відсмоктувачами пилу. При цьому умови утворення небезпечних концентрацій в апаратах з пилом дещо відрізняються від умов в апаратах з рідинами та газами.

На сучасних виробництвах технологічні процеси герметизовані, тобто речовини обертаються усередині технологічного обладнання (резервуари, трубопроводи, насоси тощо), внутрішній простір якого може бути місцем виникнення пожежі.

Отже, необхідно розглянути причини утворення горючого середовища усередині технологічного обладнання, а також способи захисту апаратів та трубопроводів від цих горючих утворень, враховуючи при цьому умови ведення технологічного процесу.

## 2.1 Апарати з легкозаймистими та горючими рідинами

У виробничих умовах обробляються або беруть участь у технологічному процесі різноманітні легкозаймисті (ЛЗР) та горючі (ГР) рідини.

Рідина мають властивості текучості, не мають певної визначеної форми, тому на виробництві вони знаходяться у замкнених об'ємах – резервуарах, апаратах, трубопроводах тощо.

Апарати, резервуари та ємності з ЛЗР та ГР звичайно не бувають заповнені повністю, тобто мають вільний від рідини простір, який поступово насичується парами рідини при її випаровуванні (рис.2.1). За наявності в цьому просторі повітря (або іншого окислювача) пари рідини змішуються з ним і можуть утворювати вибухонебезпечні суміші. Практичні спостереження показали, що в результаті дифузії та конвекційних потоків концентрація пари індивідуальних рідин у повітряному просторі апаратів майже не змінюється за висотою. Пари неоднорідних рідин з низькою температурою кипіння над розчинами також мають приблизно однакові концентрації в різних точках пароповітряного простору закритих ємностей.

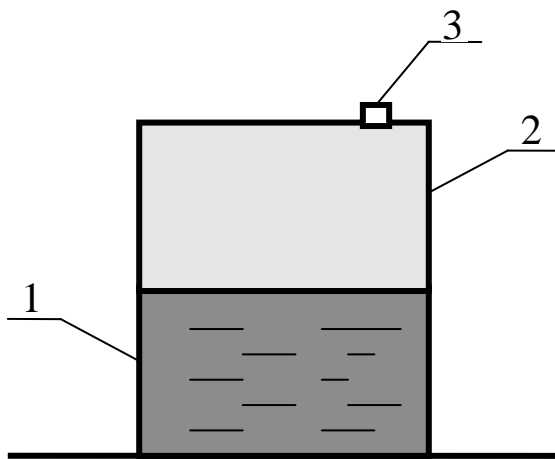


Рисунок 2.1- Апарат із пароповітряним простором

1 - рідина; 2 – пароповітряний простір; 3 - дихальна лінія

Концентрація парів над розчином висококиплячих неоднорідних рідин, тобто тих, що важко випаровуються за звичайних температур, нерівномірно розподіляється за висотою повітряного простору апарата: концентрація пари біля поверхні рідини наближається до насичення і поступово зменшується за мірою віддалення від неї.

При підвищенні температури концентрація парів рівномірно розподіляється за висотою апарата (якщо температура рідини та температура парового простору будуть однаковими).

Таким чином, можна вважати, що концентрація пари ( $\varphi_p$ ) в пароповітряному просторі апаратів з легкозаймистими та горючими рідинами наближається до концентрації насиченої пари ( $\varphi_s$ ), тобто  $\varphi_p = \varphi_s$ . Особливо це відноситься до апаратів з тривалим зберіганням рідин та апаратів з нагрітими рідинами.

Концентрація насиченої пари рідини визначається величиною тиску насиченої пари ( $P_s$ ) та робочого тиску ( $P_p$ ) в об'ємі пароповітряного простору апарата:

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_p} \quad (2.1)$$

Тиск насиченої пари рідини залежить від її температури і визначається за рівнянням Антуана:

$$P_s = 10^3 \cdot 10^{\left( A - \frac{B}{t_p + C_a} \right)}, \quad (2.2)$$

де  $P_s$  - тиск насиченої пари за робочою температурою рідини, Па;

$t_p$  - робоча температура рідини, °C;

A, B,  $C_a$  - константи Антуана, що залежать від властивостей рідини [3].

Отже, концентрація насичених парів є функцією температури, тобто  $\varphi_s = f(T)$ , але утворення горючого середовища в апараті можливе тільки за умов, коли концентрація пароповітряного простору в апараті знаходиться в межах між нижньою та верхньою концентраційними межами поширення полум'я:

$$\varphi_H \leq \varphi_p \leq \varphi_B, \quad (2.3)$$

де  $\varphi_p$  - робоча (фактична) концентрація парів рідини в апараті,  $\text{кг}/\text{м}^3$  або % об.;

$\varphi_H$ ,  $\varphi_B$  - відповідно нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я,  $\text{кг}/\text{м}^3$  або % об. [3].

Слід зазначити, що в деяких випадках температура рідини буде надзвичайно малою для того, щоб утворилася вибухопожежонебезпечна концентрація пари, тобто концентрація пари буде нижче нижньої концентраційної межі поширення полум'я. В інших випадках температура рідини буде настільки високою, що концентрація пароповітряної суміші в апараті буде перевищувати вищу концентраційну межу поширення полум'я.

Таким чином, в пароповітряному об'ємі закритих апаратів вибухонебезпечні концентрації парів утворюються тільки у визначених температурних межах, тобто коли виконується наступна умова:

$$t_H \leq t_p \leq t_B, \quad (2.4)$$

де  $t_H$  та  $t_B$  - відповідно нижня та верхня температурні межі поширення полум'я,  $^{\circ}\text{C}$ ; для багатьох ЛЗР та ГР наведені у довідникових посібниках;

$t_p$  - робоча температура рідини в апараті,  $^{\circ}\text{C}$ .

Робоча температура визначається за показниками приладів або з технологічного регламенту. Якщо робоча температура в процесі експлуатації змінюється, то необхідно визна-

чити найбільш небезпечні періоди роботи, що у свою чергу залежать від сукупності умов роботи апарата або технологічної установки взагалі.

Отже, усередині технологічного обладнання з ЛЗР та ГР горюче середовище утворюється, якщо виконуються наступні умови:

- наявність вільного об'єму в апараті;
- наявність окислювача;
- робоча температура рідини знаходиться між нижньою і верхньою температурними межами поширення полум'я (з урахуванням тиску середовища в апараті).

Враховуючи особливості технологічних процесів, проаналізуємо можливість утворення горючого середовища усередині апаратів при нерухомому верхньому рівні рідини та рухомому рівні, який змінюється в процесі спорожнення та наповнення апаратів.

### **2.1.1 Апарати з нерухомим рівнем рідини**

Усередині закритого апарата з нерухомим рівнем горючої рідини (рис. 2.1) горюче середовище може утворюватися тільки за наявності в апараті пароповітряного простору, що у тій або іншій мірі насичується парамаи.

Наявність вибухонебезпечних концентрацій в апараті буде визначатися основною умовою (2.3):

$$\varphi_H \leq \varphi_p \leq \varphi_B$$

Але на практиці для оцінки горючості середовища при нерухомому зберіганні горючих рідин, коли концентрація їх парів у вільному просторі апаратів досягає стану насичення, частіше використовуються температурні межі поширення полум'я (2.4). Вони вказують на значення меж температур, за яких концентрація парів рідини буде відповідати нижній або верхній концентраційній межі поширення полум'я.

$$t_H \leq t_p \leq t_B$$

Розглянемо цю методику на наступному прикладі. На установці одержання етилового спирту (рис.2.2) 20%-ний розчин спирту при температурі  $18^{\circ}\text{C}$  із проміжної ємності поступає на підігрів до  $70^{\circ}\text{C}$ , а потім направляється на ректифікацію. Температура в ректифікаційній колоні дорівнює  $80^{\circ}\text{C}$ . Із верхньої частини колони пари спирту-ректифікату направляються на конденсацію в холодильник при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ , а потім поступають в збірник ректифікату.

Необхідно визначити пожежовибухонебезпеку парів спирту у всіх апаратах технологічної схеми. Для цього визначаємо, чи мають апарати вільний об'єм, в якому можуть утворюватися пароповітряні суміші, і порівнюємо робочі температури рідин в апаратах з величиною їх температурних меж поширення полум'я (табл.2.1).

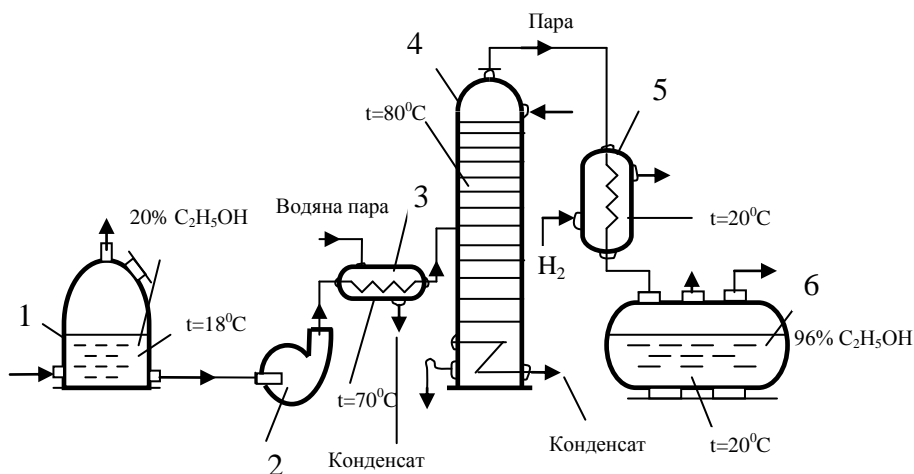


Рисунок. 2.2 - Схема установки для укріплення водного розчину спирту

1 – проміжна ємність; 2 – насос; 3 – підігрівник; 4 – ректифікаційна колона; 5 – конденсатор – холодильник; 6 – ємність ректифікату



Таблиця 2.1- Аналіз можливості утворення горючого середовища в апаратах

№ апарата	Найменування апарата; рідина	Наявність пароповітряного простору	Робоча температура в апараті, °С	Температурні межі поширення полум'я водно-спиртових розчинів, °С		Висновок про горючість середовища в апараті
				нижня	верхня	
1.	Резервуар; 20%-ний розчин спирту	Є	18	33	54	Середовище негорюче, ( $t_p < t_H$ )
2.	Насос; 20%-ний розчин спирту	Немає	18	33	54	Відсутній пароповітряний простір
3.	Підігрівник; 20%-ний розчин спирту	Немає	70	33	54	Відсутній пароповітряний простір
4.	Ректифікаційна колона; верх-96%-ний розчин спирту низ-вода	Немає	Верх-80 Низ-100	11	40	Відсутній пароповітряний простір
5.	Холодильник; спирт-ректифікат	Немає	80...20	11	40	Відсутній пароповітряний простір
6.	Ємність ректифікату	Є	20	11	40	Середовище горюче, бо є пароповітряний простір та ( $t_H \leq t_p \leq t_B$ )

Як видно з таблиці, в апараті 1 горюче середовище не утворюється, оскільки температура розчину спирту нижче нижньої температурної межі поширення полум'я ( $t_p < t_H$ ); в

апараті 6 утворюється горюче середовище ( $t_H < t_p < t_B$ ); в апаратах 2-5 взагалі відсутній пароповітряний простір.

Таким чином, температурні умови експлуатації апаратів з нерухомим рівнем рідини можуть в достатній мірі охарактеризувати стан горючості пароповітряної суміші (за умов насиченої концентрації парів в апараті).

Але робоча температура рідини в процесі експлуатації апаратів та резервуарів може змінюватися і за певних умов може привести до виникнення горючих концентрацій.

За незначних коливань робочої температури в апаратах з нерухомим рівнем горючої рідини у більшості випадків за розрахункову температуру приймають середню температуру рідини. За значних коливань робочої температури в апаратах необхідно враховувати те, що концентрація насиченої пари в паро-газовому просторі ємності визначається меншою із температур поверхневого шару рідини або паро-газового простору. Наприклад, у неізольованих металевих ємностях, що розміщуються на відкритих технологічних майданчиках (резервуари для нафти та нафтопродуктів), під впливом сонячної радіації виникають коливання добових температур та температури поверхневого шару рідини, і температура паро-газового простору перевищує температуру рідини. Звідки концентрація насичених парів визначається температурою поверхневого шару рідини, яка перевищує середню робочу температуру рідини. В цьому випадку необхідно додатково визначати та враховувати перегрів поверхневого шару рідини. Це особливо важливо для рідин, що мають високі значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я (газ, реактивне паливо, в деяких випадках дизельне паливо), коли при підвищенні температури навколишнього середовища або під впливом сонячної радіації температура поверхневого шару зростає та досягає нижньої концентраційної межі поширення полум'я.

На рис.2.3 наведені результати оцінки горючості середовища в резервуарах із стаціонарною покрівлею при зберіганні ЛЗР з різними показниками пожежної небезпеки для умов помірно-континентального клімату з врахуванням екстремальних коли-

вань температури вдень та вночі [7]. Як видно із рисунка, резервуари з бензином небезпечні взимку; резервуари з уайт-спіритом безпечні взимку, але можуть бути небезпечними влітку, а зберігання толуолу небезпечне майже протягом всього року.

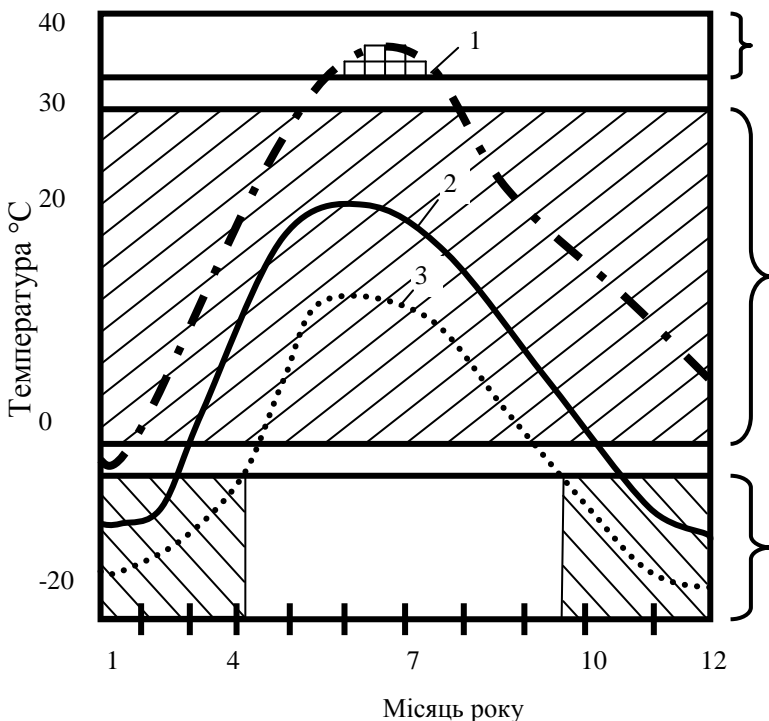


Рисунок 2.3 - Оцінка горючості середовища в резервуарах із стаціонарною покрівлею при зберіганні ЛЗР в залежності від пори року

1 – максимальна температура верхнього шару рідини;  
 2 – середньомісячна температура рідини; 3 – мінімальна температура пароповітряної суміші в нічний час ( \\\ -бензин Б-70, /// - толуол, ||| - уайт-спірит)

При застосуванні даної методики оцінки горючості середовища за температурними межами поширення полум'я до резервуарів нафтобаз з нерухомим зберіганням нафтопродуктів,

що мають середню температуру навколишнього середовища, маємо наступні результати: резервуари з бензином небезпечні взимку, резервуари з гасом безпечні взимку, але можуть бути небезпечними влітку; дизельне паливо безпечне і влітку, і взимку.

Але в конкретних виробничих умовах співвідношення температур може змінюватися. Так, наприклад, при зберіганні гарячих нафтопродуктів на нафтопромислах, нафтопроводах, нафтопереробних заводах за розрахункову температуру приймають підвищену робочу температуру рідини, за якої резервуар з бензином та нафтою вже буде в безпечному, а з гасом та дизельним паливом – в небезпечному стані.

Слід зазначити, що методика оцінки пожежовибухонебезпеки середовища усередині апаратів з горючими рідинами за температурними межами поширення полум'я зручна для практичного використання, але можливості її обмежені. Її не можна застосовувати до резервуарів, в паро-газовому просторі яких концентрація парів завжди далека від стану насичення (наприклад, в резервуарах з понтонами).

### **2.1.2 Апарати з рухомим рівнем рідини**

До апаратів із рухомим рівнем рідини відносяться, зокрема, резервуари для зберігання ЛЗР та ГР, які за умовами технологічного процесу періодично заповнюються або спорожнюються.

Якщо у газовому просторі таких апаратів утворюється насичена концентрація парів рідини і цей простір захищений від доступу повітря (від вивітрювання), наприклад, дихальним клапаном, склад та стан цього середовища не змінюється, незалежно від того, знаходиться він у стані спокою чи змінюється при русі рівня рідини вверх. Оцінку горючості середовища у цих умовах здійснюють за температурними межами поширення полум'я (2.4). Але при зниженні рівня рідини в апарат через дихальний пристрій надходить повітря і розбавляє насичені пари. При цьому, якщо концентрація парів у резервуарі була більшою

за верхню ( $\varphi_B$ ) концентраційну межу поширення полум'я, тобто була негорючою, то при відкачці рідини у всьому об'ємі або тільки в зоні притоку повітря пароповітряна суміш може ставати горючою. А суміш, що знаходиться в зоні вибухонебезпечних концентрацій, при відкачці може розбавитися до пожежобезпечного стану. При повторенні операцій наповнення та спорожнення часто буває так, що протягом робочого часу в апаратах буде ненасичена концентрація. У цих випадках оцінку горючості середовища виконують за співвідношенням (2.3):

$$\varphi_H \leq \varphi_p \leq \varphi_B,$$

де  $\varphi_p$  - робоча концентрація парів, що змінюється, визначається розрахунком або експериментально.

Зміну робочої концентрації парів легкозаймистих та горючих рідин в резервуарах без теплової ізоляції (наявність перепаду температур та конвекції), коли парціальний тиск парів практично однаковий у всьому об'ємі газового простору, за винятком ламінарного дифузійного шару безпосередньо над поверхнею рідини, можна розрахувати за методикою М.М. Костянтинова [4]. Використовуючи цю методику, можна також приблизно простежити зміну середньої концентрації парів і дати оцінку горючості пароповітряного середовища у резервуарі в процесі здійснення різних технологічних операцій, що періодично повторюються:

- операція 1 – спорожнення резервуара;
- операція 2 – простій пустого резервуара;
- операція 3 – заповнення пустого резервуара;
- операція 4 – простій повного резервуара.

На рис.2.4 представлений графік зміни концентрації  $\varphi_p$  в наземному резервуарі з бензином. Графік побудовано за наступними вихідними даними [4]: об'єм резервуара 4600 м<sup>3</sup>; площа поверхні рідини 410 м<sup>2</sup>; граничний ступінь заповнення 0,9; продуктивність операцій заповнення та спорожнення бен-

зину 470 м<sup>3</sup>/год; час простою між операціями - 3 години; пружність парів за робочою температурою 20<sup>0</sup>С складає 0,063 МПа; молекулярна маса бензину 100; концентрація насичених парів бензину  $\varphi_s$  (за об'ємом) 0,5; концентраційні межі поширення полум'я (за об'ємом):  $\varphi_H = 0,01$ ;  $\varphi_B = 0,06$ .

$\varphi$ , об.ч.

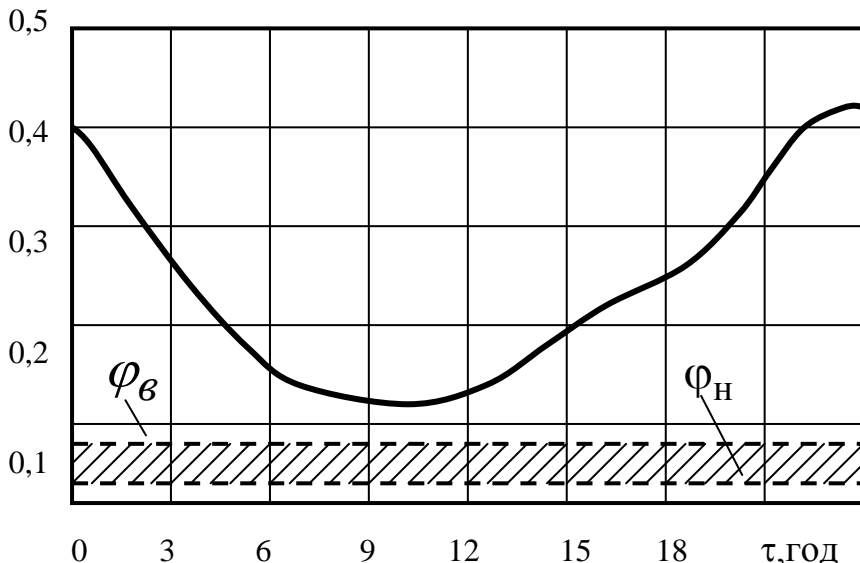


Рисунок 2.4 - Графік зміни концентрації парів бензину в наземному резервуарі з бензином

0-9 год - спорожнення резервуара; 9-12 год – простій пустого резервуара; 12-21 год – заповнення резервуара; 21-24 год – простій повного резервуара

Із графіка видно, що  $\varphi_p = \varphi_s$  лише в одній точці (на початку відліку). У всі останні проміжки часу концентрація парів бензину суттєво відхиляється від стану насичення. І лише при простої повного резервуара вона наближається до свого початкового значення. Для даних умов здійснення операцій середня концентрація парів в резервуарі завжди залишається негорю-

чою, оскільки навіть її мінімальне значення (0,13) у кінці операції відкачування більш ніж у два рази перевищує верхню концентраційну межу поширення полум'я.

Таким чином, в наземному резервуарі з нерухомим рівнем рідини (нафтопродукту) максимальна концентрація парів утворюється при достатньо тривалому простої резервуара, а мінімальна - в кінці відкачки нафтопродукту.

Наведена методика справедлива лише за умов дотримання рівномірного розподілу парів по всьому об'єму вільного простору, що у великих резервуарах може бути обумовлено конвекцією внаслідок перегріву поверхні рідини або бокової стінки, а в невеликих резервуарах з високою продуктивністю операцій – інтенсивним перемішуванням.

Але в дійсності поблизу дихальних пристроїв (під покрівлею резервуарів) можуть утворюватися пожежовибухонебезпечні концентрації. На рис.2.5 представлений графік фактичної зміни концентрації парів за висотою резервуара після закінчення операції відкачування бензину.

У великих резервуарах об'ємом 10 - 20 тис. м<sup>3</sup> і більше розбавлення пароповітряної суміші здійснюється в основному в зоні притоку повітря, де утворюються, як правило, локальні горючі концентрації.

Таким чином, за деяких технологічних та температурних умов можливий нерівномірний розподіл парів по всьому об'єму газового простору апаратів та резервуарів. Але слід мати на увазі, що після початку пожежі на виробництві пари розподіляються швидко та рівномірно.

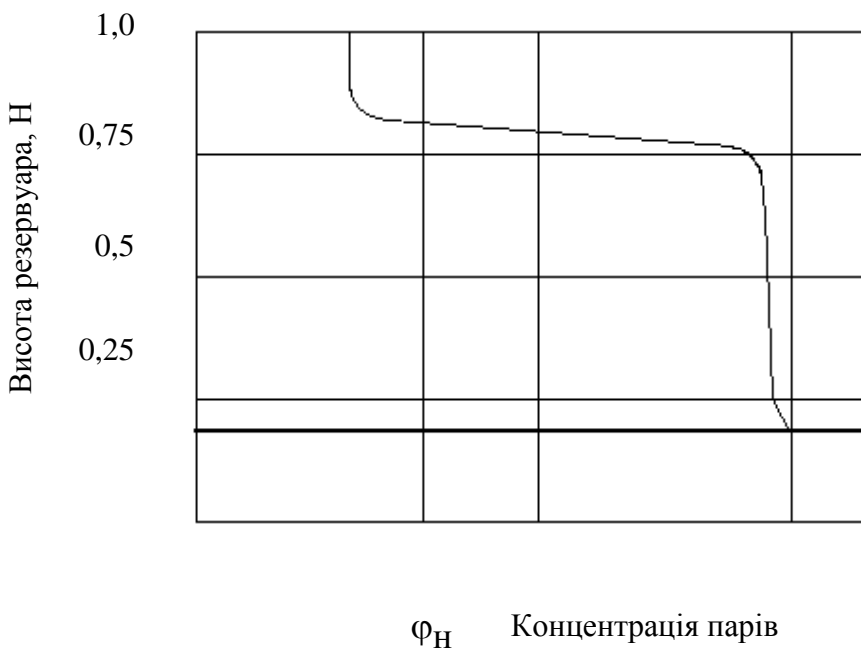


Рисунок 2.5 - Графік зміни концентрації парів в резервуарі через 1 год після закінчення операції відкачування бензину: 1- рівень бензину після відкачування; 2- концентрація парів бензину

### 2.1.3 Пожежна профілактика утворення горючого середовища в апаратах з легкозаймистими та горючими рідинами

Запобігання утворення горючого середовища в закритих апаратах і ємностях із нерухомим та рухомим рівнем рідини забезпечується такими інженерно-технічними рішеннями:

- ліквідація пароповітряного простору;
- підтримання безпечного температурного режиму;
- використання високостійких пін, емульсій, добавок;



- введення негорючих (інертних) газів у газовий простір апарата (флегматизація);
- зменшення швидкості зміни рівня рідини шляхом збільшення числа апаратів, що одночасно спорожнюються;
- улаштування газової обв'язки синхронно працюючих апаратів.

**Ліквідація пароповітряного простору.** В апаратах та резервуарах з нерухомим рівнем рідини це досягається вибором їх лінійних розмірів, що забезпечують максимально можливе заповнення внутрішнього об'єму з наступним автоматичним регулюванням установленого рівня рідини. Але при цьому існує небезпека переливу рідини при перепоповненні апарата, а також руйнування апарата та розливу рідини за умов підвищення температури в повністю заповненому апараті.

Ліквідувати пароповітряний простір в апаратах можна за допомогою влаштування ємностей, в яких горючі рідини знаходяться під захисним шаром води, або над шаром води (рис.2.6, 2.7). Таким чином можна зберігати горючі рідини, що

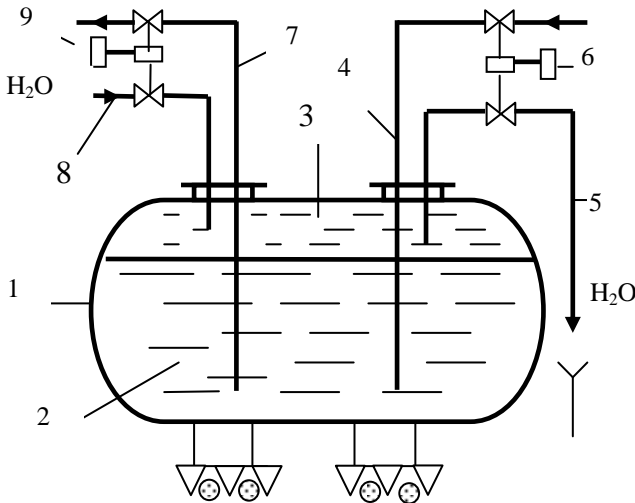


Рисунок 2.6- Зберігання горючої рідини під шаром води

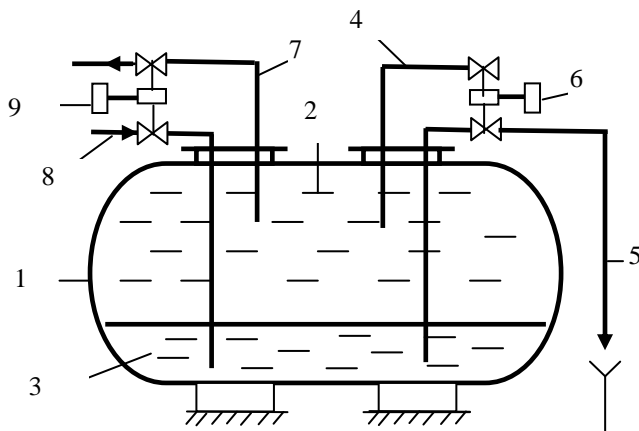


Рисунок 2.7 – Зберігання горючої рідини над шаром води:  
 1 – корпус; 2 – горюча рідина; 3 – вода; 4 – лінія подачі горючої рідини; 5 - лінія відводу води; 6, 9 – приводи з блокуванням; 7 – витратна лінія горючої рідини; 8 – лінія подачі води на перекачування

В апаратах та резервуарах з рухомим рівнем рідини ліквідація пароповітряного простору досягається використанням резервуарів з плаваючими покрівлями, з понтонами, а також використанням ємностей із гнучкими внутрішніми оболонками (гумовотканинні резервуари), в яких немає умов для випаровування рідини.

Такі конструкції резервуарів дозволяють вирішити не тільки проблему забезпечення пожежної безпеки резервуарних парків, але і проблему захисту навколишнього середовища.

**Плаваюча покрівля** представляє собою порожнистий диск із сталевих листів товщиною 2-5 мм, вона не має жорстких зв'язків з корпусом резервуара, працює як самостійний елемент (піднімається та опускається) при зміні рівня рідини і одночасно виконує роль зовнішньої стаціонарної покрівлі (рис.2.8). Для того, щоб не допустити обертання плаваючої покрівлі, рух її здійснюється по направляючих пристроях, які запобігають її перекосу при аварійних ситуаціях (наприклад,

при затопленні покрівлі). Діаметр плаваючої покрівлі менше внутрішнього діаметру резервуара. Кільцевий зазор між плаваючим диском та стінкою резервуара ущільнюють спеціальними затворами.

В результаті такої конструкції горюче середовище може утворитися тільки по зазору під ущільненням, а також в газовому просторі під покрівлею при зниженні рівня рідини нижче граничного нижнього положення диску, коли він опускається на опірні стійки.

**Резервуари з понтонами**, так само, як і резервуари з плаваючими покрівлями, відносяться до групи резервуарів, що не мають газового простору між рідиною та плаваючим понтоном. Всі резервуари з понтоном мають стаціонарну покрівлю (рис.2.9). Понтон плаває на поверхні рідини і не має металевих конструкцій, які були б жорстко пов'язані з корпусом. Нижнє положення понтона фіксується стійками, а верхнє – максимальним рівнем рідини. Між бортом понтона та корпусом резервуара є зазор шириною 150-200 мм, що запобігає можливому заклинюванню понтона. Для запобігання випаровуванню рідини зазор ущільнюють затворами.

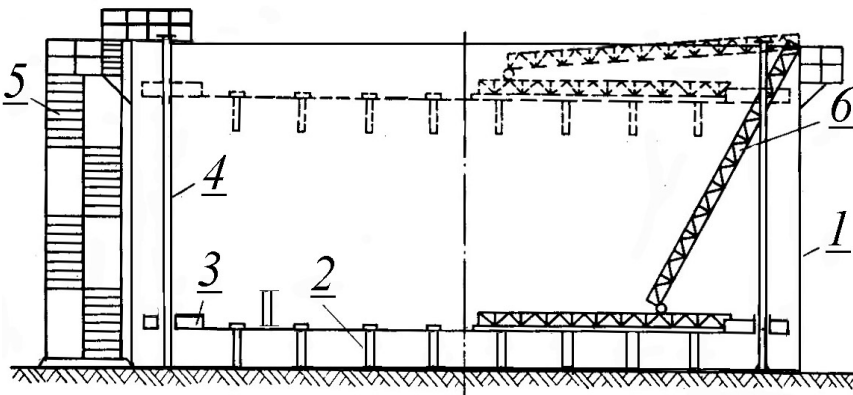


Рисунок 2.8 - Резервуар з плаваючою покрівлею  
1 - стінка; 2 - опорні стійки; 3 - плаваюча покрівля; 4 - направляючі; 5 - сходовая драбина; 6 - катуча драбина

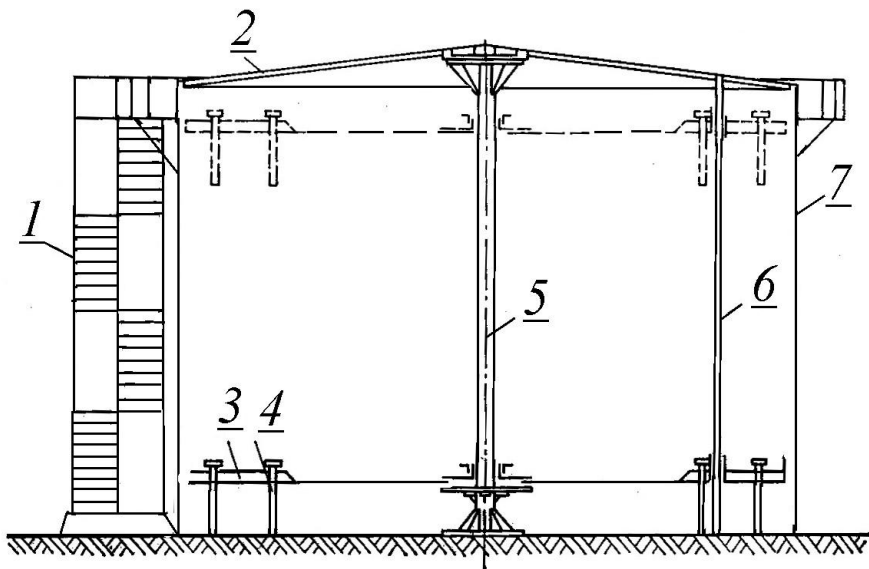


Рисунок 2.9 - Резервуар з понтоном

1 - сходові драбини; 2 - покрівля; 3 - понтон; 4 - опорні стійки; 5 - центральна стійка; 6 - направляюча; 7 - стінка

На відміну від резервуарів з плаваючими покрівлями, резервуари з понтонами мають підвищену пожежовибухонебезпеку через незначне накопичення парів горючих рідин в просторі над понтоном ( $\varphi_p < \varphi_v$ ). Потрапляння парів в цей простір здійснюється, головним чином, за рахунок випаровування продукту, що залишається на стінках резервуара при опусканні понтона, а також із зони кільцевого зазору між стінкою резервуара та понтоном.

Запобігання утворенню горючого середовища в резервуарі із понтоном можливе тільки за умов інтенсивного провітрювання простору над понтоном для зниження концентрації парів нижче нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $\varphi_p < \varphi_n$ ).

Таким чином, резервуари з плаваючою покрівлею мають багато переваг. В порівнянні з типовими резервуарами, вони забезпечують різке скорочення втрат від випаровування (до 97%). Оскільки немає стаціонарного даху, скорочується витрата сталі на виготовлення резервуара (в порівнянні з резервуаром, що має понтон), майже повністю виключається небезпека утворення горючої пароповітряної суміші в основному об'ємі резервуара, не відбувається концентрований та потужний викид парів в атмосферу при наповненні резервуара, а також внаслідок незначної площі дзеркала рідини на початковій стадії пожежі, що виникає, різко скорочуються розміри полум'я та небезпечний тепловий вплив на сусідні резервуари.

Використання еластичних оболонок-вкладишів дозволяє також запобігти утворенню пароповітряного простору в ємностях з горючими рідинами. У цьому випадку при заповненні ємності верхня частина оболонки плаває на поверхні рідини, а в спорожненій ємності оболонка-вкладиш лягає на днище, і при цьому стінки верхньої половини прилягають до стінок нижньої частини під дією атмосферного тиску.

**Підтримання безпечного температурного режиму.** Одним із найбільш простих напрямків пожежної профілактики із запобігання утворення горючого середовища в апаратах та ємностях є дотримання безпечного температурного режиму їх експлуатації. При цьому температурний режим роботи апаратів повинен бути нижче нижньої або вище верхньої температурної межі поширення полум'я.

$$t_{\text{н}} > t_{\text{р}} > t_{\text{в}} \quad (2.5)$$

В першому випадку ( $t_{\text{р}} < t_{\text{н}}$ ) концентрація парів ( $\varphi_{\text{р}}$ ) над рідиною завжди буде менше нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $\varphi_{\text{н}}$ ). Практично це забезпечується використанням систем охолодження та обмеженням температури підігріву апаратів.

У другому випадку ( $t_{\text{р}} > t_{\text{в}}$ ) концентрація парів ( $\varphi_{\text{р}}$ ) усередині апарата завжди буде більше верхньої концентраційної

межі поширення полум'я ( $\varphi_B$ ). Зрозуміло, що спеціально з цією метою рідину не нагрівають (це приводить до додаткових витрат тепла та підвищення тиску), але високі температури дуже часто необхідні для проведення технологічних процесів. Якщо робочі температури апаратів таких технологій (ректифікаційні колони, хімічні реактори, ємності із скрапленими горючими газами) значно перевищують верхню температурну межу поширення полум'я ( $t_p > t_B$ ), то порушення температурного режиму в сторону зниження температури в цих апаратах може привести до утворення вибухонебезпечних сумішей.

Таким чином, робоча температура в апаратах та ємностях з легкозаймистими та горючими рідинами повинна систематично підтримуватися нижче нижньої та вище верхньої температурної межі поширення полум'я, що досягається завдяки системам автоматичного контролю та регулювання температурного режиму.

У цьому випадку буде підтримуватися вибухобезпечна концентрація горючих парів рідини й окислювача в суміші з урахуванням коефіцієнта безпеки [2]:

$$\varphi_{p.без} \leq 0,9 (\varphi_H - 0,7R) \quad (2.6)$$

$$\varphi_{p.без} \geq 1,1 (\varphi_B + 0,7R), \quad (2.7)$$

де  $\varphi_{p.без}$  - вибухобезпечна концентрація горючих речовин в газоповітряній суміші, % об;

R - відтворність методу визначення показника пожежної небезпеки при довірчій вірогідності 95% не повинна перевищувати 0,3% на нижній та 0,6% на верхній концентраційних межах поширення полум'я.

Слід ще раз зазначити, що ця методика справедлива лише при дотриманні умови рівномірного розподілу парів по всьому об'єму вільного простору, що у великих резервуарах може бути обумовлено конвекцією внаслідок перегріву поверхні рідини або бокової стінки, а в невеликих резервуарах з високою

продуктивністю операцій – інтенсивним перемішуванням внаслідок руху повітряного середовища, що підсмоктується.

**Використання високостійких пін, емульсій, добавок.** В цьому випадку підбираються такі речовини та матеріали, введення яких в горючу рідину значно знижує її випаровуваність, і таким чином, зменшує кількість горючих парів у пароповітряному просторі апарата. Такі добавки не повинні руйнуватися, повинні плавати на поверхні рідини, створюючи при цьому необхідну товщу шару та герметизацію з корпусом апарата, а головне – бути негорючими і не впливати на фізико-хімічні властивості рідин. В якості таких речовин та матеріалів можуть бути використані: високостійкі піни, емульсії та порожнисті мікрокульки, що плавають на поверхні рідини і перешкоджають її випаровуванню; рідини, що можуть розчинятися в горючих рідинах, і таким чином, знижувати пружність парів та їх випаровуваність (наприклад, вода – для спиртів, ацетону, оцтової кислоти; чотирихлористий вуглець – для нафтопродуктів та сірко-вуглецю; спеціальні желатинуючі добавки – для авіаційного палива).

Використання вищезазначених методів дозволяє підтримувати в апаратах концентрацію парів горючих рідин за даною температурою нижче нижньої концентраційної межі поширення полум'я.

**Флегматизація пароповітряного простору апаратів.** Принцип безпеки в цьому випадку забезпечується шляхом введення в пароповітряний простір апаратів та ємностей негорючих газів (флегматизаторів).

Негорючі гази (азот, вуглекислий газ, аргон, водяна пара, вихлопні гази двигунів внутрішнього згорання, димові топкові гази) розбавляють концентрацію окислювача (кисню повітря) над рідиною і, таким чином, погіршують горючі властивості середовища. За визначеної (флегматизуючої) концентрації інертного компонента зона пожежовибухонебезпечних концентрацій звужується майже до повної її ліквідації. Звичайно на практиці заміну кисню повітря флегматизатором здійснюють продувкою пароповітряного простору ємності флегматизатором

з наступним видаленням газової суміші, що виходить, з іншої сторони ємності.

Слід зазначити, що немає необхідності видаляти весь кисень із пароповітряного простору ємності або апарата, а достатньо лише розбавити суміш негорючим газом до безпечної концентрації.

Згідно з [2] пожежовибухобезпечну концентрацію флегматизатора та окислювача в апараті визначають з урахуванням коефіцієнтів безпеки (2.8, 2.9)

$$\varphi_{\text{ф.без}} \geq 1,1 (\varphi_{\text{ф}} + 0,7R) \quad (2.8)$$

$$\varphi_{\text{O}_2, \text{без}} \leq 0,9 (\varphi_{\text{O}_2} - 0,7R), \quad (2.9)$$

де  $\varphi_{\text{ф.без}}$  та  $\varphi_{\text{O}_2, \text{без}}$  – відповідно безпечна флегматизуюча концентрація флегматизатора та безпечна концентрація кисню в горючій суміші, % об;

$\varphi_{\text{ф}}$  та  $\varphi_{\text{O}_2}$  - відповідно мінімальна флегматизуюча концентрація флегматизатора та мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню в горючій суміші, % об. Флегматизуючі концентрації інертних газів для сумішей різних горючих речовин з повітрям наведені в довідковій літературі [3].

Величина мінімального вибухонебезпечного вмісту кисню наводиться також в довідковій літературі або розраховується (при флегматизації середовища азотом) за формулою:

$$\varphi_{\text{O}_2} = \beta \cdot \varphi_{\text{H}} \quad (2.10)$$

де  $\beta$  - стехіометричний коефіцієнт при кисню у рівнянні реакції згоряння одного моля горючої речовини.

Витрати інертного газу визначають за об'ємом газового простору апарата або за продуктивністю апарата.

Флегматизуюча дія інертних домішок детально вивчається в курсі „Теорія розвитку та припинення горіння”.



**Улаштування газової обв'язки** синхронно працюючих апаратів дозволяє виключити або зменшити потрапляння атмосферного повітря в апарат, що спорожнюється і, таким чином, запобігти утворенню вибухонебезпечних сумішей.

Газова обв'язка представляє собою систему трубопроводів, що поєднує газові простори апаратів або ємностей і призначена для перетоку пароповітряної суміші із апаратів, що наповнюються, в апарати, що синхронно спорожнюються (рис. 2.10).

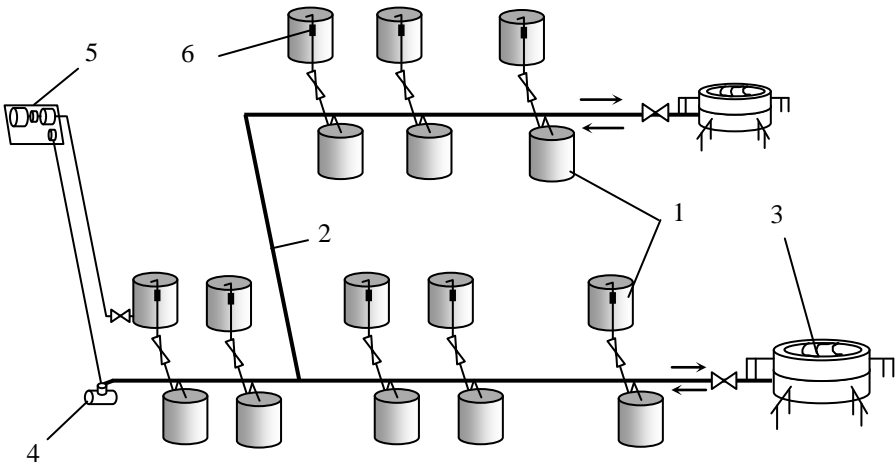


Рисунок 2.10 - Газова обв'язка резервуарів з ЛЗР

1 – резервуари; 2 – лінії пароповітряної суміші; 3 – газгольде-ри; 4 – конденсатозбірник; 5 – насос для відкачування конденсату; 6 – вогнеперешкоджувачі на лініях пароповітряної суміші

В систему трубопроводів входять основний колектор та підвідні трубопроводи, що поєднують апарати з основним колектором. На кожному підвідному газопроводі влаштовуються вогнеперешкоджуючі вузли для запобігання поширенню пожежі із апарата в апарат та засувки для відключення апаратів газової обв'язки на випадок ремонту, аварії або пожежі. На випадок відсутності синхронізації між витратою та заповненням апаратів, а також для приймання надлишку пароповітряної суміші при

підвищенні температури система газової обв'язки має газозбірник. Пароповітряна суміш з апаратів поступає в газозбірники, а при спорожненні апаратів або їх охолодженні знову повертається до апаратів. За відсутності газозбірника колектор пароповітряної суміші сполучають із загальною повітряною трубою, що має дихальний клапан та вогнеперешкоджувач.

При злагодженій роботі апаратів, коли закачування або викачування рідини здійснюється одночасно і в рівних кількостях, вірно запроєктована газова обв'язка майже повністю запобігає потраплянню кисню повітря в апарати та викиду парів і газів у навколишнє середовище.

Газові обв'язки апаратів використовуються в резервуарних парках при зберіганні нафтопродуктів, причому їх можна споруджувати на діючих резервуарах без реконструкції резервуарного парку. Але аналіз пожеж в резервуарних парках показує, що такі системи можуть бути шляхами швидкого поширення вогню зразу на декілька резервуарів, в результаті чого вже на початковій стадії пожежа приймає особливо великих розмірів.

Таким чином, пожежно-профілактичні заходи проти утворення горючого середовища усередині технологічного обладнання з нерухомим та рухомим рівнем рідини повинні бути направлені перш за все на ліквідацію в апаратах пароповітряного простору, на дотримання концентрації горючих парів за пожежовибухонебезпечними межами та на запобігання потраплянню окислювача до апаратів.

## **2.2 Апарати з горючими газами**

У виробничих умовах одержують або використовують у технологічному процесі різноманітні горючі гази (ГГ) при різних температурах та тиску.

В якості хімічної сировини або палива широко використовуються наступні гази: нафтовий, коксовий, етилен, ацетилен, абгази, аміак, водень та інші. Гази не мають визначеної форми, мають велику текучість та значну дифузійну здатність.

Тому у виробничих умовах вони обов'язково знаходяться в герметично закритих ємностях, апаратах та трубопроводах.

Невірна експлуатація апаратів з ГГ може викликати пожежі та вибухи.

Наприклад, на одній із наповнюючих станцій загорівся ацетилен, що привело до пожежі та вибуху балонів з ацетиленом в наповнюючому відділенні. Аварія виникла в результаті вибуху одного з гумових рукавів з металевою внутрішньою ізоляцією, витоку ацетилену високого тиску через зруйнований рукав та спалахування ацетиленоповітряної суміші, що утворилася. Порушення ізоляції були виявлені в місцях, де під час роботи виникало перегинання. Зовнішній гумовий шар не дозволяв спостерігати та виявляти можливі порушення металевої ізоляції усередині рукава. Дослідження причин руйнування металевої ізоляції шлангу показали, що останній пропрацював 21 місяць і витримав за цей час 5580 перегинань під кутом  $90^\circ\text{C}$  за умов жорсткого кріплення спеціальним пристроєм. Руйнування виникло в місці перегинання на відстані 25-35 мм від кінця металевого захвату.

### **2.2.1 Умови утворення горючого середовища**

Робота апаратів з горючими газами частіше всього пов'язана з надлишковим тиском, і звичайно апарати та трубопроводи при їх нормальній роботі заповнені горючим газом (або сумішшю газів) без домішок окислювача (рис.2.11). Горюча концентрація усередині таких апаратів утворитися не може через відсутність окислювача (робоча концентрація в них  $\varphi_p = 100\% \text{ об}$ ).

Інколи на виробництві використовується суміш горючого газу з повітрям або киснем (наприклад, одержання окислів азоту окислюванням аміаку, одержання водню конверсією метану, ацетилену – термоокислювальним піролізом природного газу та інш.). Можливість утворення горючої суміші в цьому випадку може бути визначена із наступного співвідношення (2.3):

$$\varphi_H \leq \varphi_p \leq \varphi_B,$$

де  $\varphi_p$  - робоча концентрація газів в апараті.

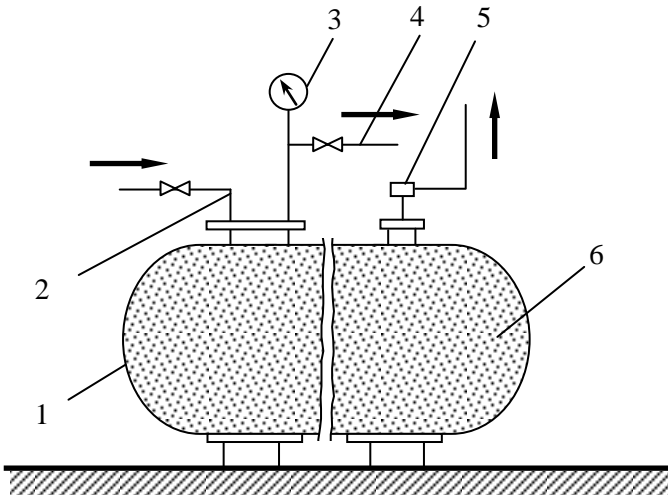


Рисунок 2.11 - Апарат с газом

1 – корпус; 2 – наповнююча лінія; 3 – манометр; 4 – лінія витрати; 5 – запобіжний клапан; 6 - газ

Робочу концентрацію горючого газу в апараті можна визначити розрахунком або аналізом суміші, а також за даними технологічного регламенту. Особливу увагу необхідно приділяти технологічному обладнанню, в якому за умовами технології знаходяться суміші горючого газу з повітрям або киснем.

Робочу концентрацію ГГ у суміші з окислювачем можна визначити з рівняння матеріального балансу апарата за формулою:

$$\varphi_p = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\Gamma} + V_{\text{ок}}} \quad (2.11)$$

або

$$\varphi_p = \frac{G_{\Gamma}}{G_{\Gamma} + G_{\text{ок}}}, \quad (2.12.)$$

де  $V_{\Gamma}$ ,  $V_{\text{ок}}$  - об'єми відповідно горючого газу та окислювача в апараті,  $\text{м}^3$ ;

$G_{\Gamma}$ ,  $G_{\text{ок}}$  - об'ємні витрати ГГ та окислювача,  $\text{м}^3/\text{хв}$ .

Найбільш небезпечними є апарати з ГГ в періоди їх пуску, зупинки та роботи під вакуумом. Вакуум в апаратах інколи створюють для зниження температурного режиму або з метою запобігання потраплянню парів та газів у повітря виробничого приміщення. В цьому випадку за останнім апаратом за ходом технологічного процесу влаштовують вакуум-насос або ежектор. Якщо в апаратах або трубопроводах, що знаходяться під вакуумом, є нещільності, тоді повітря підсмоктується всередину апарата і можливе утворення вибухонебезпечних сумішей.

Кількість повітря, що потрапляє до апарата таким чином, можна визначити за формулою (2.13):

$$Q_{\text{п}} = f \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{в}}}{\rho_{\text{п}}}} \cdot \frac{T \cdot \tau}{T_0}, \quad (2.13)$$

де  $f$  – переріз нещільностей, через які підсмоктується повітря,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  - коефіцієнт витрати повітря, дорівнює 0,6-0,75;

$P_{\text{в}}$  – величина вакууму в апараті, Па;

$\rho_{\text{п}}$  – густина повітря, що потрапляє до апарата за даною температурою,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$T$ ,  $T_0$  - відповідно температура в апараті та температура повітря, що підсмоктується,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\tau$  - тривалість процесу надходження повітря до апарата, с.

Умови утворення горючого середовища в періоди пуску та зупинки апаратів будуть розглянуті нижче.

### **2.2.2 Пожежно-профілактичне попередження виникнення горючого середовища в апаратах з горючими газами**

Запобіганню утворенню горючого середовища в закритих апаратах, ємностях та трубопроводах з газами сприяють наступні інженерно-технічні рішення:

**1. Підтримання концентрації горючого газу у суміші з окислювачем за концентраційними межами поширення полум'я** (якщо це можливо за умовами технології). За наявності суміші горючого газу з окислювачем робоча концентрація в апаратах повинна бути вище верхньої або нижче нижньої концентраційної межі поширення полум'я з урахуванням коефіцієнтів безпеки:

$$0,9(\varphi_{\text{H}} - 0,7R) \geq \varphi_{\text{р.без}} \geq 1,1(\varphi_{\text{В}} + 0,7R). \quad (2.14)$$

Для цього на лініях подачі встановлюють автоматичні регулятори співвідношення, витрати та тиску газів. Особливо це стосується вибухонебезпечних газофазних окислювально-відновлювальних процесів, безпека яких обумовлюється не тільки співвідношенням горючих компонентів, що змішуються з окислювачами, але і відношенням регламентованої швидкості подачі реагентів. Так, наприклад, в процесі окислення аміаку виробництва азотної кислоти підтримується робоча аміачно-повітряна суміш, що вміщує 9,5- 11% NH<sub>3</sub> та 90,5-89% повітря при концентраційних межах поширення полум'я аміаку 15-28%, а також регулюється швидкість подачі аміаку (в м<sup>3</sup>/год) при стабільному потоку повітря або повітря за постійної витрати аміаку.

**2. Підтримання в газових комунікаціях надлишкового тиску**, що сприяє запобіганню підсмоктування зовнішнього повітря через нещільності. Прикладом цього можуть бути трубопроводи факельних систем, по яких безперервно або періодично скидаються горючі гази на спалювання або утилізацію.

**3. Безперервний автоматичний контроль вмісту небезпечної домішки** в газі (окислювача в інертному газі, окислювача в суміші горючого та інертного газу, горючого газу в окислювачі). Наприклад, контроль домішки повітря або кисню в азото-водневій суміші перед стисканням на компресорах в агрегатах синтезу аміаку. Для контролю домішок апарати і трубопроводи обладнують газоаналізаторами, а також передбачають блокування на вузлах засувки, що виключає потрапляння домішок у технологічний газовий потік. Якщо в потоках сировини знаходиться незначна кількість домішок, які в даному процесі можуть перетворюватися в інші сполуки або переходити в інший агрегатний стан та накопичуватися в технологічному обладнанні, утворюючи вибухонебезпечні суміші, то встановлюють максимально допустиму кількість їх в працюючій апаратурі. Кількість таких домішок в кожному конкретному випадку повинна бути обґрунтована і не представляти небезпеки утворення вибухонебезпечних сумішей.

**4. Стабілізація зони горіння горючої суміші** в захищеному просторі апарата (реактора) шляхом вибору швидкості та режиму руху горючої суміші, що запобігає "проскакуванню полум'я" (переміщення зони горіння) у незахищений простір апарата (реактора).

**5. Зміна стану горючої суміші при аварійних ситуаціях** за допомогою інертного розріджувача або шляхом припинення подачі одного із компонентів горючої суміші, у деяких випадках - припинення подачі відразу двох компонентів. Це забезпечує швидке переведення горючої суміші в негорючий стан. Слід зазначити, що за технологічними або економічними міркуваннями деякі процеси приходиться здійснювати при концентрації окислювача в газовому середовищі в межах спалахування суміші з горючими газами. Таким прикладом може служити агрегат конверсії метану в газовому цеху виробництва аміаку (рис. 2.12). На початкових стадіях експлуатації таких агрегатів більша частина сталевих компенсаторів виходить з ладу в результаті прогару. Горіння відбувається при температурі близько 1700°C, тому в момент досягання по-

лум'ям компенсаторів, що не захищені вогнетривкою футеровкою, сталь плавиться і газ у виді полум'я виривається в цех і створює там обстановку пожежі. В цьому випадку для припинення горіння необхідно перекрити подачу газу в конвертор. Застосовується автоматичне перекриття шляхом подачі сигналів з термопар, що встановлені над каталізатором та в трубопроводі біля компенсатора. Крім цього, передбачена подача азоту в камеру змішування.

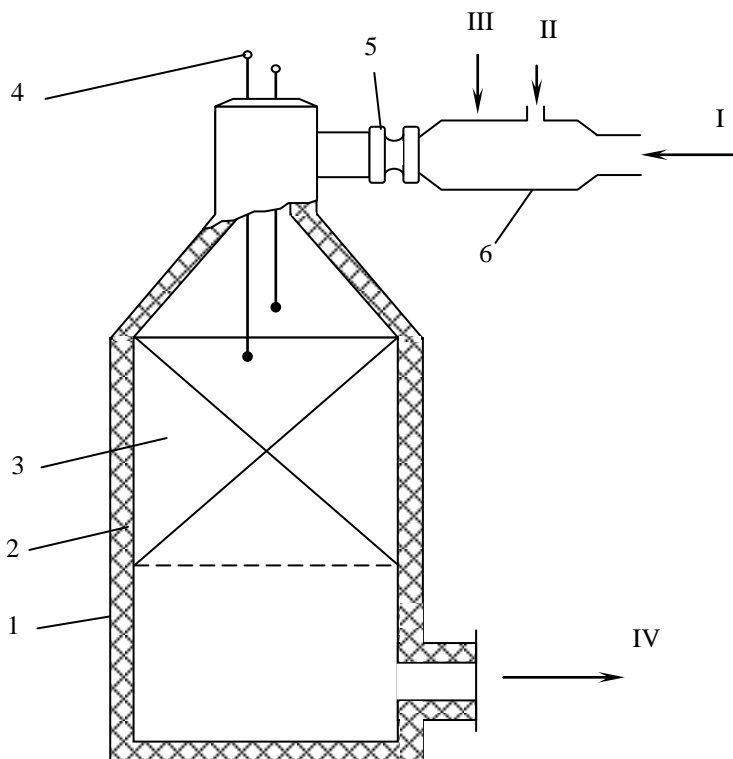


Рисунок 2.12 - Конвертор метану

1 – корпус; 2 – футеровка; 3 – каталізатор; 4 – термопара;  
 5 – компенсатор; 6 – змішувач; I – киснево-повітряна суміш;  
 II – метан; III – азот; IV – газ конверсії



Таким чином, вибухобезпека газової суміші забезпечується флегматизацією інертним газом, що подається постійно в технологічну систему з безперервним автоматичним контролем складу трикомпонентної газової суміші (горючий газ, окислювач, інертний газ). В таких процесах потрібно здійснювати постійний автоматичний контроль подачі інертного розріджувача в кількостях, необхідних для забезпечення мінімальної концентрації окислювача, що поступає до газового змішувача. Необхідний також постійний нагляд за станом газоаналізаторів та засобів регулювання подачі інертного середовища.

### **2.3 Апарати з горючим пилом та волокнами**

В багатьох технологічних процесах, що здійснюються в різних галузях промисловості, беруть участь тверді речовини та матеріали, що знаходяться в дисперсному стані (пил, порошки, волокна), які у виробничих умовах можуть бути:

- сировиною (порошкова металургія, виробництво гуми);
- допоміжним технологічним матеріалом (паливо);
- проміжним або кінцевим продуктом (борошно, цукрова пудра тощо);
- побічними продуктами або відходами виробництва (борошняний, тютюновий, деревний пил, бавовняний пил та пух).

Усередині 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.

Розглянемо цей процес на прикладі осідання частинки кулеподібної форми. Відомо, що здатність твердої частинки до осідання із газового потоку буде залежати від її ваги та опору середовища. На цю частинку, що знаходиться в потоці газу, діють: сила тяжіння, під'ємна сила та сили тертя (опору середовища).

Силу тяжіння, яка дорівнює вазі частинки ( $G_T$ ), можна визначити із основного закону механіки:

$$F = G_T = mg, \quad (2.15)$$

$$\text{або } G_T = \rho_T \cdot V g, \quad (2.16)$$

де  $\rho_T$  - густина частинки,  $\text{кг/м}^3$ ;

$V$  - об'єм кулеподібної частинки, дорівнює  $V=4/3\pi R^3$  або  $1/6d^3$ ;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{м/сек}^2$ .

Тоді:

$$G_T = \frac{\rho_T \cdot g \cdot \pi \cdot d^3}{6} \quad (2.17)$$

Підйомну силу, що згідно із законом Архімеда, дорівнює кількості газу ( $G_{II}$ ), який витискається частинкою, також визначаємо з основного закону механіки:

$$G_{II} = \frac{\rho_G \cdot g \cdot \pi \cdot d^3}{6}, \quad (2.18)$$

де  $\rho_G$  – густина газу, що витискається,  $\text{кг/м}^3$ .

Рівнодіючу сил тертя (опору середовища) визначаємо за формулою:

$$R = \frac{\lambda \cdot \rho_{\Gamma} \cdot F \cdot V^2}{2}, \quad (2.19)$$

де  $d$  – діаметр частинки, м;

$\lambda$  – коефіцієнт опору середовища;

$F$  – площа поперечного перерізу частинки (для частинок кулеподібної форми  $F = \pi d^2 / 4$ ), м<sup>2</sup>.

На підставі закону Н'ютона одержуємо:

$$m \frac{\partial V}{\partial \tau} = G_{\Gamma} - G_{\Pi} - R, \quad (2.20)$$

де  $m$  – маса частинки.

При постійних значеннях  $G_{\Gamma}$  та  $G_{\Pi}$  (за певної швидкості газу) наступає стан, коли права частина рівняння (2.19) дорівнює нулю:

$$G_{\Gamma} - G_{\Pi} - R = 0. \quad (2.21)$$

Цей стан називається динамічною рівновагою частинки (при цьому сила опору середовища дорівнює силі осідання частинки :  $G_{\Gamma} - G_{\Pi} = R$ ) і визначається швидкістю осідання  $V_{oc}$ . Підставимо (2.17-2.19) в (2.21), одержимо:

$$\frac{\rho_{\Gamma} \cdot g \cdot \pi \cdot d^3}{6} - \frac{\rho_{\Pi} \cdot g \cdot \pi \cdot d^3}{6} - \frac{\lambda \cdot \rho_{\Gamma} \cdot \pi \cdot d^2}{6} \cdot \frac{V_{oc}^2}{2} = 0, \quad (2.22)$$

звідки визначаємо швидкість осідання:

$$V_{oc} = \sqrt{\frac{4(\rho_{\Gamma} - \rho_{\Pi}) \cdot d \cdot g}{3 \cdot \rho_{\Pi} \cdot \lambda}}. \quad (2.23)$$

Таким чином, завислий пил не буде осідати, а осілий буде звихрюватися, якщо швидкість руху газового потоку буде більша, ніж швидкість осідання.

### 2.3.1 Причини та умови утворення горючого середовища

Пожежну небезпеку представляють як пилові хмари, так і відкладення пилу на будівельних конструкціях та технологічному обладнанні. Обертання ж в технологічних процесах таких потенційно небезпечних речовин, як пластмаса, барвники, натуральне паливо тощо в мілко подрібненому стані, створює загрозу вибуху усередині технологічного обладнання та у виробничих приміщеннях. Вибухи пилу виникають також і при створенні інтенсивних технологій переробки дисперсних матеріалів: при подрібненні та розмелі зерна, при добутку кам'яного вугілля тощо. Так, наприклад, на борошномельних заводах весь процес виробництва борошна полягає в поетапному подрібненні зерна у вальцових станках та на інших машинах. При цьому утворюється значна кількість мілкодисперсного органічного пилу. В ситовійочних машинах виникає інтенсивне завихрення пилу у повітрі та утворення пилоповітряної суміші, і таким чином весь внутрішній вільний об'єм машин, механізмів, комунікацій постійно заповнений пилоповітряною сумішшю.

Для оцінки пожежовибухонебезпеки пилоповітряної суміші важливе значення має нижня концентраційна межа поширення полум'я пилу, оскільки величина верхньої межі поширення полум'я дуже висока і практично майже недосяжна. Отже, умовою наявності в технологічному обладнанні вибухонебезпечної концентрації горючого пилу буде співвідношення:

$$\varphi'_p \geq \varphi'_n, \quad (2.24)$$

де  $\varphi'_p$  - робоча концентрація пилу, завислого та осілого в апараті або в приміщенні,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\varphi'_n$  - нижня концентраційна межа поширення полум'я,  $\text{кг/м}^3$ .

Величини концентраційних меж поширення полум'я пилоповітряних сумішей залежать не тільки від хімічного складу речовини, але і значною мірою від її подрібненості, вологості та зольності.

Дійсну робочу концентрацію пилу в апараті необхідно визначати за сумарною кількістю не тільки завислого, але й осілого пилу, який може за певних умов перейти у завислий стан (2.25):

$$\phi'_p = \phi'_{зав} + \phi'_{ос}, \quad (2.25)$$

де  $\phi'_{зав}$  - концентрація завислого горючого пилу в апараті,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\phi'_{ос}$  - концентрація осілого горючого пилу в апараті, що може перейти у завислий стан,  $\text{кг/м}^3$ .

$$\phi'_{ос} = \frac{I_{від} \cdot \tau}{V_B} \quad \text{або} \quad \phi'_{ос} = \frac{m_{ос}}{V_B}, \quad (2.26 \text{ та } 2.27)$$

де  $I_{від}$  - інтенсивність утворення відкладень пилу,  $\text{кг/хв}$ ;

$\tau$  - тривалість роботи апарата,  $\text{хв}$ ;

$V_B$  - вільний об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$m_{ос}$  - маса осілого пилу в апараті,  $\text{кг}$ .

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, 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 поверх-

нях 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, ФРН) 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 розмелювальне відділення, склад готової продукції, виробничий комплекс та адміністративні будівлі. Матеріальні збитки склали близько 50 млн. марок. При вибуху одержали травми 17 чоловік, загинули 14 чоловік. 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.

### **2.3.2 Запобігання утворенню горючого середовища в технологічному обладнанні з горючим пилом та волокнами**

При розробці заходів із забезпечення пожежовибухобезпеки виробництв необхідно враховувати умови утворення вибухо-

небезпечних концентрацій усередині технологічного обладнання, що залежать не тільки від вибухопожежонебезпечних властивостей та агрегатного стану горючих речовин, а також і від конструктивних особливостей та режиму роботи обладнання.

Вибухобезпечними умовами експлуатації апаратів з горючим пилом є підтримання гранично допустимої концентрації горючого пилу в них у межах:

$$\varphi_{p.без} \leq \frac{\varphi_H}{K_{б.н.}}, \quad (2.28)$$

де  $K_{б.н.}$  - коефіцієнт безпеки (запасу надійності);  
 $K_{б.н.} \geq 2.$

Основним фактором, що забезпечує пожежовибухобезпеку виробництв, пов'язаних з обертанням горючого пилу, є організація технологічного процесу таким чином, щоб утворення пилу, особливо мілких фракцій, було мінімальним, чого можна досягти, використовуючи кращі технології та надійне обладнання.

Відомі наступні заходи, що направлені на зниження пожежовибухонебезпеки апаратів та трубопроводів, де наявний горючий пил.

**1. Застосування процесів з меншим виділенням пилу** (вібропомел, подрібнення із зволоженням, мокрі процеси обробки твердих та волокнистих речовин).

**2. Введення негорючих (інертних) газів, мінерального пилу (крейди, цементу) усередину апаратів** (наприклад, в періоди пуску та зупинки млинів та подібних до них машин, при пневматичному транспортуванні небезпечних пиловидних матеріалів, при сушінні порошоків). Флегматизацію горючих аерозолів здійснюють азотом, діоксидом вуглецю, топковими газами.

**3. Улаштування систем місцевого відсмоктування** (систем аспірації) пилу з апаратів. Термін „аспірація” означає повітрообмін в машинах та апаратах через місцеві відсоси. В залежності від способу переміщення повітря, системи аспірації

поділяються на всмоктуючі (рис.2.13 а) та нагнітальні (рис. 2.13. б). Кожна аспіраційна мережа складається з машини (або групи машин), пиловідділювача, вентилятора, повітровода. В якості пиловідділювачів використовують циклони (рис.2.14) та тканинні всмоктуючі фільтри.

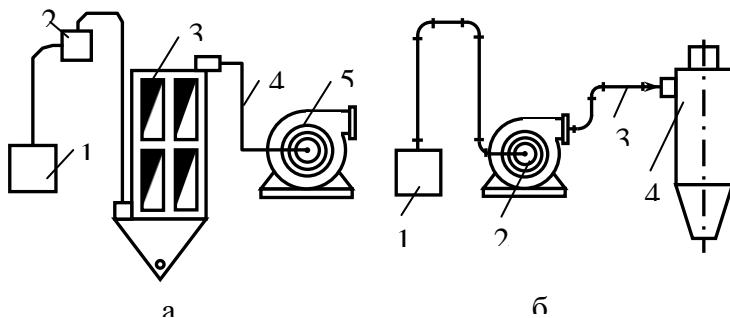


Рисунок 2.13 – Схема аспіраційної мережі

а) – всмоктуюча мережа:

1- машина аспірації; 2- колектор; 3-фільтр; 4-повітровод;  
5 – вентилятор;

б) – нагнітальна мережа:

1- машина аспірації; 2- вентилятор; 3- повітровод; 4 – циклон



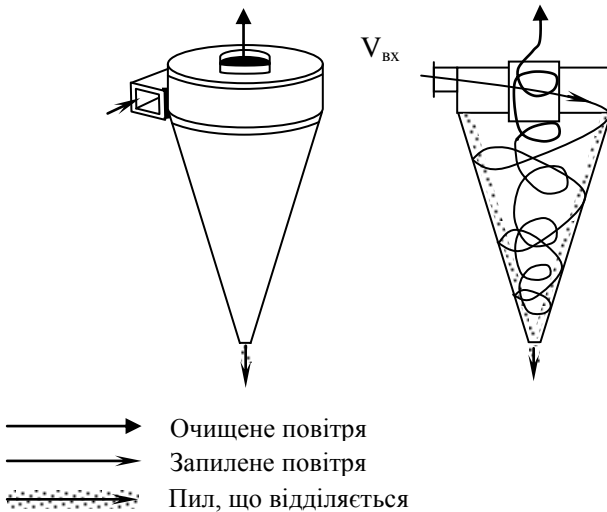


Рисунок 2.14 – Схема циклону

**4. Встановлення оптимальної швидкості повітря або негорючого газу при пневмотранспортуванні подрібнених матеріалів з метою запобігання осідання пилу;**

**5. Застосування конструктивних рішень апаратів та трубопроводів, що забезпечують мінімальне накопичення осілого пилу, до яких відносяться гладкі внутрішні поверхні апаратів та трубопроводів, плавні переходи діаметрів, плавні повороти трубопроводів, нахил конусної частини апаратів не менш ніж 60 градусів, а самопливних трубопроводів не менш ніж 45 градусів до обрію (рис. 2.15);**

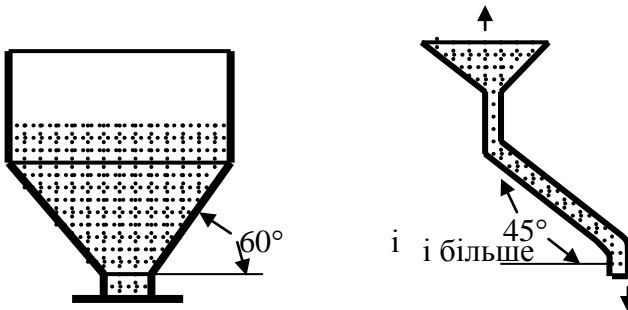


Рисунок 2.15 - Допустимі нахили стінок апаратів з порошковою продукцією

1- конусної частини апаратів та бункерів; 2- самопливних труб

**6. Використання вібраторів для запобігання утворенню пробок пилу в бункерах та трубопроводах;**

**7. Захист стінок апаратів і трубопроводів від зволоження.** Цього досягають розміщенням апаратів в опалюваних приміщеннях, підігріванням середовища або апаратів та улаштуванням теплоізоляції при розміщенні апаратів на відкритих майданчиках або в неопалюваних приміщеннях.

#### **2.4 Пожежна безпека апаратів в періоди їх пуску та зупинки**

Пуск та зупинка технологічного обладнання є невід'ємними складовими частинами технологічного циклу роботи апаратів періодичної дії. Зупинка обладнання на виробництві перш за все пов'язана з необхідністю проведення різних регламентних робіт: профілактичних оглядів, ремонту, очистки. Пуск та зупинка технологічних апаратів може бути пов'язана також з невідпрацьованим режимом роботи. При їх проведенні в апаратах одночасно можуть змінюватися всі основні параметри технологічного процесу (температура, тиск, концентрація), а також відбувається заповнення або спорожнення апаратів, їх розгерметизація та інші операції. У зв'язку з цим в періоди пуску та зупинки імовірність утворення горючого середовища усередині технологічного обладнання та назовні значно підвищується.

Утворення пожежовибухонебезпечних концентрацій при зупинці апаратів та трубопроводів виникає в результаті неповного видалення парів або газів із внутрішнього об'єму системи, а при пуску апаратів та трубопроводів – в результаті недостатнього видалення повітря.

До основних причин, що сприяють утворенню горючого середовища при зупинці апаратів, слід віднести:

- **зниження температурного режиму.** Якщо в апаратах за нормальних умов роботи горюча рідина знаходилась при  $t_p > t_b$ , то при зниженні температури вона може потрапити в температурну область спалахування ( $t_H < t_p < t_B$ );

- **неповне видалення з апарата горючих речовин.** При цьому деяка кількість речовин залишається в нижній частині апарата, на його стінках, насадках та інших внутрішніх пристроях. Дуже часто на стінках апаратів відкладаються продукти осмолення у вигляді густого шару, від якого дуже важко очистити апарат. У більшості випадків ці продукти при контакті з киснем повітря схильні до самозаймання. Ззовні повітря до апаратів може потрапити через дихальну арматуру під час зливу рідини або через відкриті люки;

- **відсутність або недостатня продувка апаратів** водяною парою або негорючим газом, недостатня промивка водою або погане вентилування повітрям внутрішнього простору апаратів і трубопроводів від залишків горючих парів та газів. Невірною є така продувка, яка проводиться за зменшеної кількості водяної пари або негорючого газу, що подаються на продувку, при зменшенні тривалості продувки апаратів або за відсутності контролю за складом газів, що відводяться з апарата після його продувки;

- **негерметичне відключення апаратів та трубопроводів з горючими речовинами.**

Якщо відключення непрацюючих апаратів здійснюється тільки шляхом перекриття засувок на з'єднувальних трубопроводах, це не гарантує повної герметичності. Під час експлуатації робочі частини засувок (клапани, плашки, тарілки тощо) зношуються, деформуються, місця з'єднань рухомих частин з корпусом можуть бути забрудненими твердими відкладеннями. І все це призводить до того, що навіть в закритому стані такі засувки здатні пропускати рідини, пари, гази, які просочуються і поступово накопичуються, утворюючи вибухонебезпечні кон-

центрації навіть в добре підготовлених та продутих апаратах і трубопроводах.

Для запобігання утворенню вибухонебезпечних концентрацій усередині апаратів та трубопроводів при їх зупинці необхідно:

- повністю злити горючі рідини та стравити горючі гази;
- надійно відключити трубопроводи з горючими речовинами;
- продути внутрішній об'єм апаратів та трубопроводів.

Для забезпечення повного зливу горючих рідин зливний трубопровід улаштовують у самій нижній точці апарата. Якщо конструкція апарата не забезпечує повний злив рідини (як, наприклад, в ректифікаційній колоні), тоді використовують способи промивки апарата водою. Вода поступово вимиває горючу рідину, займаючи її місце в апараті.

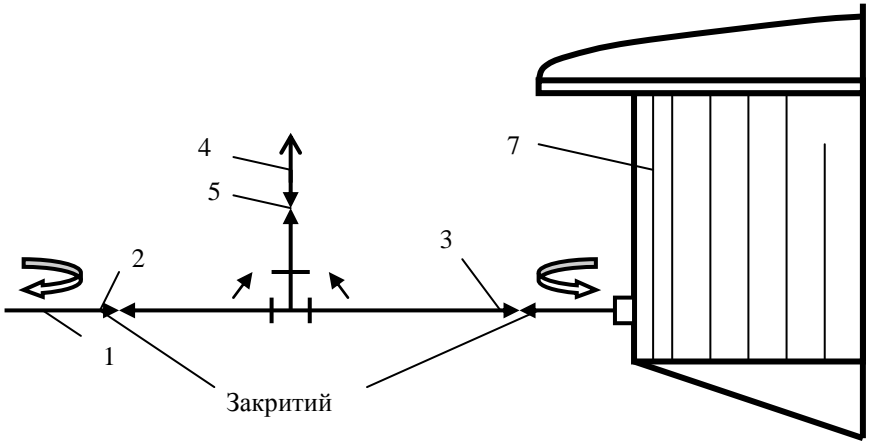
Надійне відключення апаратів та трубопроводів від працюючих систем можна здійснити різними способами. В деяких випадках, особливо якщо апарати зупиняються на тривалий строк, відключення здійснюють шляхом повного відокремлення технологічних ліній. Для цього перекривають засувку, демонтують фланцеве сполучення або взагалі демонтують один ланцюг трубопроводу. Недоліком цього способу є можливість виходу назовні газу або рідини при негерметичності засувки відключеного трубопроводу. Тому частіше відключення технологічних ліній здійснюють шляхом установки між фланцями заглушок.

Також надійне відключення апаратів забезпечується влаштуванням на технологічній лінії двох засувок, що знаходяться близько одна від одної з відвідною трубкою між ними (рис. 2.16, а). В цьому випадку несправність або нещільне закривання будь-якого з вентилів на робочій лінії не призведе до потрапляння пари або газу у відключений апарат, бо є шлях найменшого опору – вихід пари або газу через відвідну трубу. На деяких підприємствах герметичність відключення газових та рідинних ліній досягається закриттям двох засувок, що знаходяться одна біля одної з подачею між ними водяної пари або

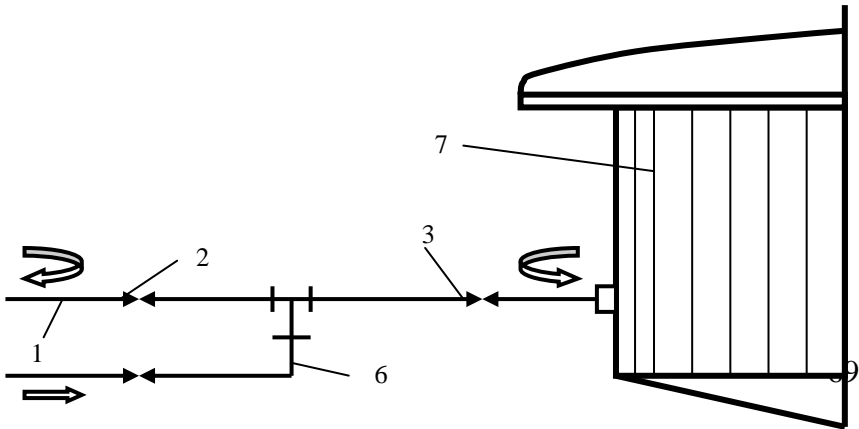
інертного газу (рис.2.16,б). Тиск водяної пари повинен бути дещо вище робочого тиску в лінії. Це запобігає потраплянню горючого продукту у відключений апарат на випадок несправності або нещільності перекриття вентилів.

Для повного видалення залишків горючих продуктів здійснюють продувку апаратів водяною парою, негорючими газами або повітрям. Частіше всього продувку проводять водяною парою, бо вона є на всіх промислових підприємствах і, крім того, висока температура пари сприяє випаровуванню залишків горючих продуктів, що знаходяться в апаратах.

Продувка негорючими газами – азотом, вуглекислим газом та димовими газами – частіше всього здійснюється в тому випадку, коли виробництво одержує їх без особливих затрат та в достатній кількості.



а



б

## Водяна пара

Рисунок 2.16 - Способи герметичного відключення технологічних ліній від апаратів

- а – двома вентилями з відкритою трубою в атмосферу;
- б- двома вентилями з підводом водяної пари між ними;
- 1- трубопровід з продуктами; 2,3,5- засувки; 4- відвідна труба;
- б-лінія водяної пари; 7-апарат

Продувка повітрям здійснюється за рахунок природної вентиляції невеликих за об'ємом апаратів із залишками горючих газів. Але при продувці апаратів шляхом вентилявання є період, коли концентрація суміші буде знаходитися у вибухо-небезпечних межах, і наявність будь-якого джерела запалювання при цьому може викликати вибух.

Час продувки апаратів та трубопроводів залежить від багатьох факторів, з яких важливими є: величина внутрішнього об'єму та конструктивні особливості апарата, кількість горючих залишків в апараті та їх летючість, діаметри ліній подачі газу на продувку та відводу суміші з апарата, тиск газу в продувочній лінії тощо.

Враховуючи ці фактори, визначити розрахунком необхідний час продувки апаратів дуже важко. Практично момент закінчення продувки визначають за аналізом суміші, що виходить з апарата через продувочну лінію. Продувку вважають закінченою, якщо в цій суміші концентрація горючих газів та парів буде не більше установленої норми (завжди менше нижньої концентраційної межі поширення полум'я).

Приблизну тривалість продувки апаратів негорючим газом до заданої залишкової концентрації горючих газів та рідин можна визначити за формулами:

- для газів:

$$\tau_r = \frac{V}{g} \ln \frac{\varphi_{\text{поч}}}{\varphi_{\text{кін}}} ; \quad (2.29)$$

- для рідин:

$$\tau_p = n \frac{V}{g} \ln \frac{\varphi_{\text{поч}}}{\varphi_{\text{кін}}}, \quad (2.30)$$

де  $\tau_{г,р}$  – час продувки апарата з горючим газом та горючою рідиною, хв;

$V$  – вільний об'єм апарата, м<sup>3</sup>;

$g$  – кількість негорючого газу, що подається для продувки апарата, м<sup>3</sup>/хв.;

$\varphi_{\text{поч}}$ ,  $\varphi_{\text{кін}}$  - відповідно початкова та кінцева концентрація горючої речовини в апараті, % об.

$n$  – коефіцієнт, що залежить від летючості рідини та її кількості, приймається рівним 3-10.

Наведені формули справедливі тільки для ідеальних умов змішування інертного газу з горючими речовинами. В реальних же умовах, внаслідок недостатньої турбулентності руху газів та наявності застійних зон (через складну конфігурацію апаратів та систем), рівномірного розподілу компонентів в газовій суміші не виникає. Тому витрата продувочного газу та час продувки апаратів повинні бути розраховані з урахуванням коефіцієнта безпеки, що приймається в залежності від конструктивних особливостей апарата та умов змішування. Отже, дійсну витрату інертного газу та час продувки апаратів в кожному конкретному випадку необхідно визначати дослідним шляхом за газовим аналізом на вміст горючих компонентів у відповідному продувочному газі.

Після закінчення продувки розпочинають відкривання апарата. На вертикальних апаратах люки відкривають зверху вниз. Після цього апарат з відкритими люками залишають для вентиляції та охолодження. Якщо всередині апарата будуть виконуватися вогневі роботи, тоді перед цим з різних місць необхідно взяти пробу повітря.

Для кращої продувки апарати забезпечуються не тільки лініями для подачі негорючого газу або водяної пари, але і продувочними свічками. Лінії подачі негорючого газу до апаратів для продувки можуть бути стаціонарними, але частіше

пара або газ подається до апаратів по гнучким шлангам. Діаметри ліній звичайно приймають в межах 50 мм. Продувочні свічки виводяться за межі виробничого приміщення або приєднуються до загальної лінії для уловлювання газів та парів з метою наступної утилізації.

Таким же чином, як і при зупинці, виконується продувка апаратів та трубопроводів від повітря при пуску їх в експлуатацію. Продувка здійснюється частіше всього водяним паром або негорючими газами і тільки в деяких випадках допускається витискання повітря горючим газом. Витискання повітря з системи горючим газом застосовується інколи при продувці газопроводів, газогенераторів та ємностей невеликого об'єму. При цьому суміш газу з повітрям не подається споживачу, а викидається в атмосферу через продувочну свічку або інший пристрій. Продувочні свічки (за умов продувки апаратів методом провітрювання та витискання повітря газом) захищають вогнеперешкоджувачами.

Закінчення продувки апаратів визначається аналізом суміші, що викидається, на наявність кисню.

Горюче середовище у виробничих приміщеннях або на відкритих технологічних майданчиках може утворитися тільки за умов виходу горючих речовин з апаратів назовні. Такі умови виникають навіть за нормальної роботи технологічного обладнання, коли використовуються апарати з відкритою поверхнею випаровування, з дихальними пристроями, апарати періодичної дії тощо. Дослідження пожежовибухонебезпеки саме таких апаратів буде розглянуто в наступній главі.

### **Контрольні питання:**

1. Назвати необхідні умови, за яких усередині закритих апаратів та ємностей з ЛЗР і ГР можуть утворитися горючі концентрації насичених парів

2. Як сформулювати для закритого апарата умови, що необхідні та достатні для утворення горючих концентрацій насичених парів з врахуванням коефіцієнта безпеки?



3. Як визначити концентрацію насиченої пари рідини при нормальному та підвищеному тиску?

4. Як оцінити горючість пароповітряної суміші в газовому просторі апарата при зміні рівня рідини?

5. Технічні рішення по запобіганню утворення горючих концентрацій в закритих апаратах з рухомим та нерухомим рівнем рідини.

6. Умови утворення горючого середовища усередині апаратів з горючими газами.

7. Інженерно-технічні рішення, що сприяють запобіганню утворення ВНК в апаратах, ємностях та трубопроводах з газами.

8. За яких умов осілий пил переходить у завислий стан, за яких умов завислий пил осідає?

9. Вкажіть пожежонебезпечні властивості завислого та осілого пилу.

10. Які виробничі процеси пов'язані з можливістю утворення великої кількості горючого пилу? Наведіть приклади.

11. Напишіть та поясніть умову утворення ВНК пилу в апараті.

12. Заходи, що направлені на зниження вибухопожежонебезпеки апаратів, трубопроводів за наявності пилу, волокон.

13. Умови утворення ВНК під час пуску та зупинки технологічного обладнання.

14. Для чого застосовують продувку апаратів? Назвати вимоги до проведення продувки апаратів.

15. Запобігання утворенню горючого середовища при зупинці апаратів.

## **ГЛАВА 3 ПОЖЕЖНА ПРОФІЛАКТИКА ВИХОДУ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН ІЗ НОРМАЛЬНО ПРАЦЮЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО БЛАДНАННЯ**

Горючі гази, пари і рідини виходять з апаратів і трубопроводів у виробниче приміщення або на відкриті площадки не тільки при ушкодженнях та аваріях, але і при нормальній експлуатації апаратів, що мають свої конструктивні особливості. До таких апаратів відносяться апарати з відкритою поверхнею випаровування, апарати з дихальними пристроями, апарати періодичної дії та інші. Слід також зазначити, що невеличкі витікання відбуваються навіть із герметично закритих апаратів, що працюють під підвищеним тиском, через нещільності в прокладках, сальниках, зварних швах.

При експлуатації зазначених апаратів вибухонебезпечні суміші можуть утворюватися не тільки у місцях виходу парів та газів, але і у виробничих приміщеннях та на відкритих майданчиках. При цьому розміри зовнішніх пожежовибухонебезпечних зон визначаються не тільки пожежонебезпечними властивостями речовин, що обертаються в технологічному процесі, але й їх кількістю, а також умовами викиду, розливу та розсіювання в навколишньому середовищі.

### **3.1 Апарати з відкритою поверхнею випаровування**

На практиці таке випаровування відбувається у тому випадку, якщо рідина розлилась на підлозі, а також при зберіганні рідин у відкритих резервуарах, при фарбуванні виробів, просочуванні тканин і паперу розчиненими смолами, промиванні та сушінні деталей розчинниками тощо.

### 3.1.1 Пожежна небезпека апаратів з відкритою поверхнею випаровування рідини

Кількість горючої рідини, що випаровується з відкритої поверхні випаровування, буде залежати від її фізичних властивостей, температурних умов випаровування, площі поверхні випаровування, часу випаровування, а також рухомості повітря.

Горюча концентрація пароповітряної суміші над відкритою поверхнею утворюється, якщо виконується умова (3.1) або умова (3.2):

$$t_p \geq t_{сп}, \quad (3.1)$$

де  $t_p$  - робоча температура рідини, °С;

$t_{сп}$  - температура спалаху рідини, °С.

$$\varphi_p \geq \varphi_n, \quad (3.2)$$

де  $\varphi_n$  - нижня концентраційна межа поширення полум'я, %;

$\varphi_p$  - фактична (робоча) концентрація горючої речовини, %.

Для практичного використання цієї умови числове значення  $t_p$  визначають за проектом або технологічним регламентом, а  $t_{сп}$  - за довідником або розрахунками.

При визначенні пожежної небезпеки велике значення має вид випаровування рідини. **Розрізняють випаровування у нерухоме та рухоме середовище.**

**При випаровуванні в нерухоме середовище** (молекулярна дифузія) розсіювання парів ускладнюється, створюються більш сприятливі умови для накопичення парів у місці їх виділення з утворенням місцевих пожежонебезпечних концентрацій. Практичний інтерес викликає закон розподілу концентрації пари за висотою над поверхнею рідини в залежності від температури та тривалості випаровування, мож-

ливих розмірів пожежовибухонебезпечних зон та кількості рідини, що випаровується.

В апараті з відкритою поверхнею випаровування рідини (рис.3.1) концентрація пари у вертикальному напрямку змінюється від насиченої концентрації  $\varphi_s$  (біля поверхні рідини) до 0 (на деякій відстані від неї). Ця відстань у кожному окремому випадку буде визначатися властивостями рідини та тривалістю випаровування.

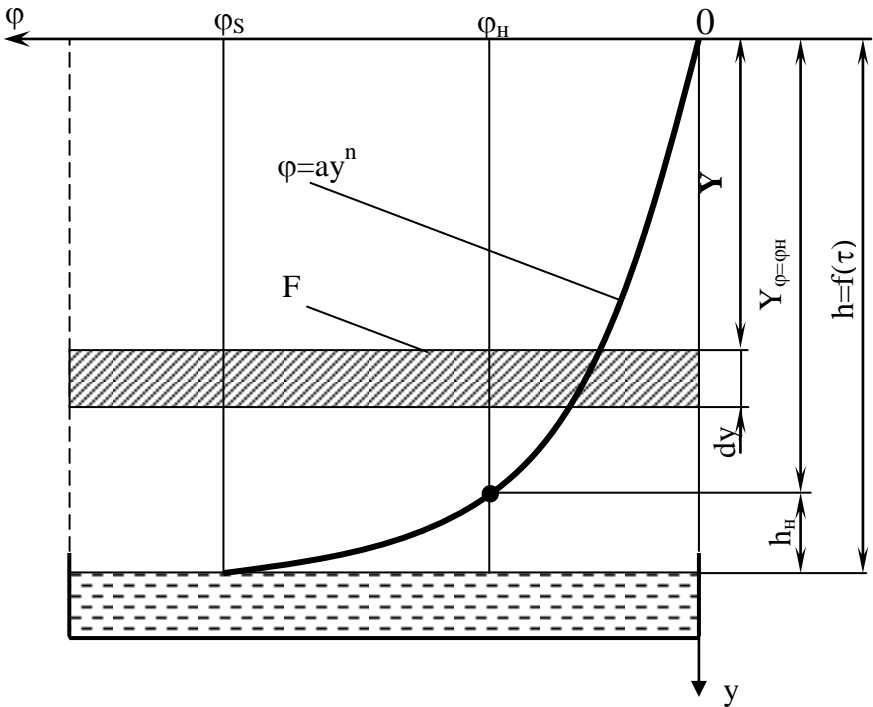


Рисунок 3.1-Зміна концентрації пари по вертикалі при випаровуванні рідини у нерухоме середовище

Якщо початок координатної системи з'єднати з точкою, де концентрація парів дорівнює нулю ( $\varphi = 0$ ), тоді криву зміни концентрації можна представити параболою n-го порядку:

$$\varphi = ay^n + b, \quad (3.3)$$

де  $\varphi$ -концентрація пари в будь-якій точці посудини;

$y$  – координата точки, в якій визначається концентрація пари;

$a$  та  $b$  – постійні величини, які можна визначити з граничних умов:

при  $y = 0$ ,  $\varphi = \varphi_0$ , отже  $b=0$ ;

при  $y = h$ ,  $\varphi = \varphi_s$ , отже  $\varphi_s = ay^n$  або  $a = \frac{\varphi_s}{h^n}$ .

Підставляючи знайдені значення  $y$  у формулу (3.3), одержимо:

$$\varphi = \varphi_s \cdot \left(\frac{y}{h}\right)^n, \quad (3.4)$$

де  $n$  - показник ступеня кривої зміни концентрації парів.

Середня концентрація парів рідини ( $\varphi_{cp}$ ) буде дорівнювати:

$$\varphi_{cp} = \int \frac{\varphi \cdot dv}{dv} = \frac{\int_0^h \varphi_s \cdot \left(\frac{y}{h}\right)^n \cdot Fdy}{\int_0^h Fdy} = \frac{\varphi_s}{n+1}. \quad (3.5)$$

Відстань  $h$  змінюється в залежності від тривалості випаровування. Щоб пов'язати концентрацію  $\varphi$  та відстань  $h$  з часом  $\tau$ , складемо диференціальне рівняння матеріального балансу, маючи на увазі, що всі пари горючої рідини знаходяться в об'ємі вертикального стовпа повітря площею, що дорівнює площі посудини  $F$ . Тоді

$$dG_{\text{вип}} = dG_{\text{ак}}, \quad (3.6)$$

де  $G_{\text{вип}}$ ,  $G_{\text{ак}}$  – відповідно кількість рідини, що випарувалася, та кількість парів, що знаходяться (акумуляовані) в повітрі.

Кількість рідини, що випаровується з вільної поверхні, можна визначити згідно закону Фіка, враховуючи поправки Стефана на конвективну дифузію:

$$dG_{\text{вип}} = D \cdot \left[ \frac{1}{1 - \varphi} \right] \cdot \frac{d\varphi}{dy} \cdot \rho \cdot F \cdot d\tau, \quad (3.7)$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії пари рідини у повітрі,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\rho$  – густина пари рідини,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$d\varphi/dy$  – градієнт концентрації.

Значення градієнта концентрації одержимо як першу похідну виразу (3.4):

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} = \left[ \varphi_S \cdot \left( \frac{y}{h} \right)^n \right]' = n \left( \frac{\varphi_S}{h^n} \right) \cdot y^{n-1} \quad (3.8)$$

Біля поверхні горючої рідини, де  $y=h$ , градієнт концентрації буде мати вид:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} = n \cdot \left( \frac{\varphi_S}{h^n} \right) \cdot h^{n-1} = \frac{n \cdot \varphi_S}{h} \quad (3.9)$$

Підставляючи (3.9) в (3.7), одержимо:

$$dG_{\text{вип}} = D \cdot \left[ \frac{1}{(1 - \varphi_S)} \right] \cdot n \cdot \left( \frac{\varphi_S}{h} \right) \rho \cdot F \cdot d\tau \quad (3.10)$$

За час  $d\tau$  висота зони поширення пари змінюється на  $dh$ . Тоді кількість пари рідини, що знаходиться у повітрі, буде дорівнювати:

$$dG_{\text{ак}} = \varphi_{\text{ср}} \rho \cdot dV = F \varphi_{\text{ср}} \rho dh = \varphi_{\text{ср}} \rho F dh / (n+1). \quad (3.11)$$

Підставляючи (3.10) та (3.11) в (3.6) і проінтегрувавши, одержимо:

$$h = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot n \cdot (n+1) \cdot \tau}{(1 - \varphi_s)}}. \quad (3.12)$$

При дослідженнях процесів випаровування нафти та нафтопродуктів установлено, що показник ступеня кривої зміни концентрації парів (випаровування в умовах молекулярної дифузії) становить близько 2. Таку ж закономірність приймаємо і для інших рідин. Тоді

$$h = \sqrt{\frac{12 \cdot D \cdot \tau}{(1 - \varphi_s)}}. \quad (3.13)$$

Підставляємо знайдені значення  $h$  в (3.4) і одержимо рівняння для визначення концентрації пари в будь-якій точці над поверхнею рідини, що випаровується (в залежності від тривалості випаровування):

$$\varphi = \varphi_1 \cdot y^2 \left[ \frac{(1 - \varphi_s)}{12 \cdot D \cdot \tau} \right], \quad (3.14)$$

звідки можна визначити координату  $y$  в точці з будь-якою концентрацією.

Тоді висота небезпечної зони над поверхнею горючої рідини буде дорівнювати:

$$h_{\text{неб}} = h - y_{\varphi=\varphi_n} = \sqrt{\frac{12 \cdot D \cdot \tau}{(1 - \varphi_s)}} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_n}{\varphi_s}}\right), \quad (3.15)$$

де  $D$  - коефіцієнт дифузії пари рідини в повітрі за нормальних умов,  $\text{m}^2/\text{c}$ ;

$\tau$  - тривалість випаровування,  $\text{c}$ ;

$\varphi_s$  - концентрація насичених парів, % об.

Якщо підставимо (3.14) в (3.7), одержимо формулу визначення кількості горючої рідини, що випаровується з відкритої поверхні у нерухоме середовище за будь-який відрізок часу:

$$G_H = 1,155 \cdot \varphi_s \cdot \rho_t \cdot F_B \cdot \sqrt{\frac{D_t \cdot \tau}{1 - \varphi_s}}, \quad (3.16)$$

де  $G_H$ - маса рідини, що випаровується з відкритої поверхні в нерухоме середовище, кг;

$\rho_t$  - густина пари рідини за робочої температури, кг/м<sup>3</sup>;

$F_B$  - площа поверхні випаровування, м<sup>2</sup>;

$D_t$ - коефіцієнт дифузії пари за робочої температури, м<sup>2</sup>/с.

Величину коефіцієнта дифузії пари або газу в повітря за робочої температури  $t_p$  можна визначити за формулою:

$$D_t = D_0 \left( \frac{t_p + 273}{273} \right)^n, \quad (3.17)$$

де  $D_0$  - значення коефіцієнта дифузії за нормальних умов ( $T_0=273\text{K}$ ,  $P_0=1 \cdot 10^5$  Па), м<sup>2</sup>/с;

$n$  - показник ступеня, що залежить від фізико-хімічних властивостей речовини.

Характер **випаровування у рухоме середовище** (конвекційна дифузія) істотно відрізняється від випаровування в нерухоме середовище (молекулярна дифузія). Молекулярна дифузія парів рідини у нерухоме середовище проходить дуже повільно. Значно швидше проходить процес дифузії парів рідини у рухоме середовище. При конвекційній дифузії маса переходить із однієї фази в іншу не тільки внаслідок молекулярного руху, але і в результаті руху повітря, а також більш інтенсивного теплообміну. За рахунок цього збільшується кількість рідини, що випаровується. У цьому випадку над поверхнею рідини утворюється невеликий приграничний проша-



рок із насиченою концентрацією пари, потім відбувається різкий перепад концентрації. В прошарках, що знаходяться вище приграничного прошарку (внаслідок інтенсивного перемішування середовища при рухові), концентрація пари буде приблизно однаковою.

Швидкість процесів масопередачі взагалі пропорційна рухомій силі і обернено пропорційна опорі. В нашому випадку швидкість випаровування рідини з визначеної площі  $F$  за час  $\tau$  у рухоме повітря буде пропорційна рухомій силі процесу випаровування і обернено пропорційна опорі. При визначенні кількості рідини, що випаровується у рухоме середовище, необхідно враховувати коефіцієнт масопередачі та середню рухому силу масопередачі, методи визначення яких вивчаються в курсі „Термодинаміка і теплопередача”.

У зв'язку з тим, що визначення швидкості випаровування рідин в умовах конвекційної дифузії пов'язано з достатньо складними розрахунками (при розрахунках необхідно враховувати функціональні залежності критерію Рейнольдса та дифузійні критерії Нуссельта, Прандтля і Гухмана), для розрахунків кількості рідини, що випаровується у рухоме середовище  $G_p$  за час  $\tau$ , використовують емпіричну формулу:

$$G_p = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s \cdot F_B \cdot \tau \quad (3.18)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, що залежить від температури та швидкості руху повітря;

$F_B$  - площа поверхні випаровування,  $m^2$ ;

$M$  – молекулярна маса рідини,  $kg/kmol$ ;

$P_s$  – тиск насичених парів за температури випаровування рідини,  $Pa$ ;

$\tau$  - час випаровування,  $s$ .

Знаючи кількість горючої рідини, що випаровується за визначений час, можна визначити, в якому об'ємі повітря  $V$  можливе утворення пожежовибухонебезпечної концентрації парів:

$$V_{\text{ВНК}} = \frac{G}{\varphi_{\text{Н}}^*} \cdot K_{\text{б}}, \quad (3.19)$$

де  $V_{\text{ВНК}}$  - об'єм місцевої зони ВНК, м<sup>3</sup>;

$\varphi_{\text{Н}}^*$  - нижня концентраційна межа поширення полум'я, кг/м<sup>2</sup>;

$G$  - сумарна маса горючих речовин, що надходять до приміщення з апаратів, кг;

$K_{\text{б}}$  - коефіцієнт запасу надійності, дорівнює 2.

### **3.1.2 Основні напрямки зниження пожежної небезпеки виробництв за наявності апаратів з відкритою поверхнею випаровування**

Зниження пожежовибухонебезпеки виробництв за наявності апаратів з відкритою поверхнею випаровування забезпечується такими технічними рішеннями:

- **заміна відкритих апаратів на закриті.** Здійснити такі заходи можливо в тих випадках, де дозволяє технологія. При цьому весь технологічний процес, у тому числі завантаження і розвантаження матеріалу, здійснюється ізольовано від навколишнього середовища. Але слід зазначити, що не завжди використання закритих апаратів приводить до зниження пожежної небезпеки. Прикладом цього можуть бути мазутосховища. При вільному виході газів із мазуту в атмосферу він зберігає високу температуру спалаху і у виробничих умовах може бути пожежонебезпечним. Заміна відкритих резервуарів на закриті значно підвищує пожежну небезпеку мазутосховищ;

- **підтримання робочої температури рідини в небезпечних межах** (нижче за температуру спалаху рідини):

$$t_{\text{рбез}} \leq t_{\text{сп}} - 35^{\circ}\text{C}; \quad (3.20)$$

- **заміна ЛЗР та ГР негорючими або менш горючими рідинами** (що мають більш високу температуру спалаху

рідини). Наприклад, використання в процесах миття й знежирення вузлів і деталей технічних миючих засобів на основі неіоногенних поверхнево-активних речовин в суміші з розчинниками та органічними добавками до них, лужних та синтетичних миючих засобів, хлористого метилену, трихлоретилену, а також застосування ультразвукового методу знежирення і очистки та інші;

- **вибір найбільш раціональної форми відкритого апарата**, що дозволяє мати мінімальну величину поверхні випаровування;

- **улаштування систем відсмоктування й уловлювання парів рідини**, що виділяються при випаровуванні безпосередньо біля апаратів. Ці системи дають позитивний ефект навіть за умов, коли робоча температура рідини перевищує температуру спалаху, завдяки тому, що робоча концентрація над дзеркалом рідини значно нижче нижньої концентраційної межі поширення полум'я;

- **наявність спеціальних пристроїв захисту апаратів** на випадок пожежі (кришки для закривання апаратів, аварійний злив рідини, локальна установка пожежогасіння). В періоди, коли апарати з горючими рідинами не працюють, вони повинні бути закритими.

### **3.2 Апарати з дихальними пристроями**

Апарати з дихальними пристроями представляють собою закриті ємності, внутрішній об'єм яких сполучається з атмосферою за допомогою дихальних пристроїв (дихальних труб, відкритих люків, клапанів тощо). Такі апарати застосовують у тих випадках, коли їх робота за умовами технології потребує зміни рівня рідини або температури газового простору резервуара. До них відносяться резервуари та інші ємнісні апарати для прийому і зберігання ЛЗР та ГР, мірники, дозатори тощо.

Слід відзначити, що дихання апаратів є причиною не тільки втрат від випаровування рідин (наприклад, нафти та нафтопродуктів), але і причиною забруднення навколишнього

середовища та утворення горючої пароповітряної суміші на технологічних майданчиках.

### 3.2.1 Пожежна безпека апаратів з дихальними пристроями

Нормальна експлуатація значної кількості закритих апаратів вимагає сполучення їх внутрішнього простору з навколишнім середовищем. Пари рідини поступають з апаратів в атмосферу або у виробниче приміщення через дихальні труби або відкриті люки в результаті так званих „малих” та „великих дихань” або „зворотного видоуху”.

**Велике дихання** - витиснення парів рідини назовні або підсмоктування повітря усередину апаратів при зміні в ньому рівня рідини.

**Мале дихання** - витиснення парів назовні або підсмоктування повітря усередину апарата при зміні температури в його газовому просторі під впливом зміни температури середовища.

Зворотний видих – витиснення парів назовні, що викликається насиченням газового простору апарата парами рідини після попереднього спорожнення апарата.

Треба мати на увазі, що потрапляння повітря в апарат при його диханні може привести до розбавлення „багатої” суміші парів до вибухонебезпечної концентрації.

При малих та великих диханнях може утворюватися горюча пароповітряна суміш біля дихальних пристроїв, якщо температура рідини дорівнює або більша за величину нижньої температурної межі поширення полум'я:

$$t_p \geq t_{\text{нТМПП}} \cdot \quad (3.21)$$

За потужністю одноразового викиду і розмірами зовнішніх пожежонебезпечних зон, що утворюються при цьому, більш небезпечними є великі дихання.

Розмір зовнішньої небезпечної зони залежить від кількості парів, що виходять, їхніх властивостей, конструкції ємності

та її дихального пристрою, а також від стану навколишнього середовища (головним чином, швидкості руху та вертикального розподілу температури повітря).

Кількість парів горючої рідини, що виділяється з апаратів при диханні, можна визначити розрахунком, якщо прийняти, що концентрація парів рідини за даної температури у всіх точках пароповітряного простору ємності або апарата однакова і дорівнює концентрації насичених парів.

Нехай в апараті з дихальним пристроєм (рис. 3.2) знаходиться легкозаймиста рідина, рівень та температура якої змінюється.

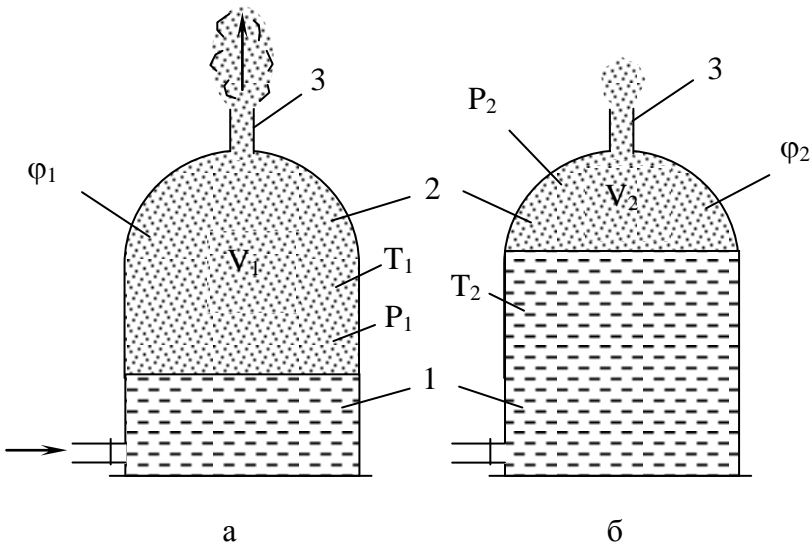


Рисунок 3.2- Закритий резервуар з дихальним пристроєм  
 а - до початку заповнення; б-в кінці заповнення апарата;  
 1 – рідина; 2-пароповітряний простір; 3- дихальна лінія

Припустимо, що об'єм  $V$  газового простору змінюється від  $V_1$  до  $V_2$ , температура і тиск від  $T_1$  до  $T_2$  та від  $P_1$  до  $P_2$  відповідно,

молярна концентрація парів від  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$ , концентрація повітря від  $(1 - \varphi_1)$  до  $(1 - \varphi_2)$ . Кількість парів, що витискується  $G_{\text{п}}$ ,

можна визначити, якщо знати об'єм витиснутого повітря та концентрацію пари у ньому.

З рівняння газового стану (3.22) визначаємо кількість повітря в апараті (3.23):

$$PV = GRT \quad (3.22)$$

$$G = \frac{PV}{RT} (1 - \varphi), \quad (3.23)$$

де  $G$  - кількість повітря, кг;

$P$  - тиск в апараті, Па;

$V$  - об'єм газу в апараті, м<sup>3</sup>;

$T$  - температура в апараті, К;

$R$  - газова стала повітря, дорівнює  $\frac{8314,31}{M_{\text{п}}} \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$ ,

$\varphi$  - молярна концентрація повітря в апараті, кг/м<sup>3</sup>.

Можна визначити кількість повітря в апараті до початку процесу:

$$P_1 V_1 (1 - \varphi_1) = G_1 R T_1, \quad (3.24)$$

звідки:

$$G_1 = \frac{P_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} (1 - \varphi_1), \quad (3.25)$$

і відповідно кількість повітря в кінці процесу:

$$P_2 V_2 (1 - \varphi_2) = G_2 R T_2 \quad (3.26)$$

$$G_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2} (1 - \varphi_2). \quad (3.27)$$

Тоді маса витиснутого з апарата повітря дорівнює:

$$G_{\Pi} = G_1 - G_2 = \left[ \frac{V_1 P_1}{T_1} (1 - \varphi_1) - \frac{V_2 P_2}{T_2} (1 - \varphi_2) \right] \frac{1}{R_{\Pi}}. \quad (3.28)$$

Разом із повітрям з апарата будуть виходити пари рідини. За законом Дальтона об'єми компонентів газової суміші пропорційні їх об'ємним концентраціям, тобто відношення об'єму повітря та парів у суміші приблизно визначається відношенням їхніх середніх концентрацій:

$$\frac{G_{\Pi}}{G} = \frac{V_{\Pi}}{V} = \frac{(1 - \bar{\varphi})}{\bar{\varphi}} \quad (3.29)$$

Враховуючи також, що маса парів та газів в однаковому об'ємі пропорційна їхнім молекулярним масам  $M$ , одержимо відношення маси повітря та парів у суміші, що витискується:

$$\frac{G_{\Pi}}{G} = \frac{1 - \bar{\varphi}}{\bar{\varphi}} \frac{M_{\Pi}}{M}, \quad (3.30)$$

звідки:

$$G = G_{\Pi} \frac{\bar{\varphi}}{1 - \bar{\varphi}} \frac{M}{M_{\Pi}}. \quad (3.31)$$

Підставляючи (3.28) у (3.31), одержимо масу парів, що витискується з апарата при зміні умов середовища:

$$G = \left[ V_1(1 - \varphi_1) \frac{P_1}{T_1} - V_2(1 - \varphi_2) \frac{P_2}{T_2} \right] \frac{\bar{\varphi}}{1 - \bar{\varphi}} \cdot \frac{M}{M_{\text{п}}} \cdot \frac{1}{R_{\text{п}}} \quad (3.32)$$

Враховуючи значення газової сталої повітря, після відповідних перетворень одержимо наступну формулу:

$$G = \left[ V_1(1 - \varphi_1) \frac{P_1}{T_1} - V_2(1 - \varphi_2) \frac{P_2}{T_2} \right] \frac{\bar{\varphi}}{1 - \bar{\varphi}} \cdot \frac{M}{R} \quad (3.33)$$

### При великому диханні

$$V_1 \neq V_2; P_1 = P_2 = P_p; T_1 = T_2 = T_p; \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_s.$$

Тоді кількість парів горючої рідини, що виділяються з апаратів при великому диханні, визначається за формулою:

$$G_{\text{в}} = (V_1 - V_2) \frac{P_p}{T_p} \varphi_s \frac{M}{R}, \quad (3.34)$$

де  $G_{\text{в}}$ - кількість парів рідини, що виходить з апарата при великому диханні, кг/цикл;

$V_1, V_2$  - відповідно об'єм газоповітряного простору апарата на початку та в кінці його заповнення, м<sup>3</sup>;

$P_p$  – робочий тиск в апараті, Па;

$T_p$  – робоча температура в апараті, К;

$\varphi_s$  – концентрація насичених парів рідини, об.частки (кг/м<sup>3</sup>);

$M$  – молекулярна маса горючої рідини, кг/кмоль;

$R$  – універсальна газова стала, дорівнює 8314,31 Дж/кмольК.



**При малому диханні** рівень рідини не змінюється, а отже і об'єм пароповітряного простору  $V$  залишається незмінним, тоді  $V_1 = V_2 = V$ . Тиск в ємності  $P_p$  також залишається незмінним, тому що надлишок пароповітряної суміші, що утворюється при її розширенні за рахунок нагрівання, видаляється через дихальну систему. Якщо за весь час малого дихання температура рівномірно змінюється від  $t_1$  до  $t_2$ , тоді рівномірно змінюється і концентрація насичених парів від  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$ . Таким чином,  $V_1 = V_2 = V$ ;  $P_1 = P_2 = P_p$ ;  $T_1 \neq T_2$ ;  $\varphi_1 \neq \varphi_2$ .

Тоді кількість горючих парів, що виходять із апарата при зміні температури середовища у газовому просторі, можна визначити за формулою:

$$G_M = V \cdot P_p \cdot \left( \frac{1 - \varphi_1}{T_1} - \frac{1 - \varphi_2}{T_2} \right) \cdot \frac{\bar{\varphi}}{1 - \bar{\varphi}} \cdot \frac{M}{R}, \quad (3.35)$$

де  $G_M$ - кількість парів рідини, що виходить з апарата при малому диханні, кг/цикл;

$V$  – внутрішній вільний об'єм апарата, що заповнюється паром або газом під тиском,  $m^3$ ;

$\varphi_1, \varphi_2$  – концентрація насичених парів рідини відповідно при температурі  $T_1$  та  $T_2$ , об.частки ( $кг/м^3$ );

$\bar{\varphi}$  – середня концентрація парів в апараті, об.частки ( $кг/м^3$ ).

В залежності від режиму роботи апаратів з дихальними пристроями, основна частка втрат може припадати на великі або малі дихання. Масу парів, що виділяються у виробниче приміщення або на відкриту площадку з апаратів, що дихають, визначають за формулою:

$$m = \frac{G_i \cdot N \cdot \tau}{3600}, \quad (3.36)$$

де  $m$  - маса парів рідини, що надходять до приміщення з апарата, кг;

$G_i$  - кількість парів, що надходять до приміщення за один цикл “великого” або “малого” дихання, кг/цикл;

$N$  - кількість циклів (операцій) протягом години, год<sup>-1</sup>;

$\tau$  - тривалість роботи апарата, с.

Утворення локальних вибухонебезпечних концентрацій на прилеглий місцевості або в об’ємі всього приміщення може виникнути переважно при великих диханнях, коли відбувається потужний викид суміші в атмосферу за значної концентрації в ній горючих парів. Приблизний об’єм зони вибухонебезпечних концентрацій (ВНК) поблизу дихаючих патрубків можна визначити за формулою (3.19):

$$V_{\text{ВНК}} = \frac{m}{\varphi_{\text{Н}}^*} \cdot K_{\text{б}},$$

де  $V_{\text{ВНК}}$  - об’єм місцевої зони ВНК, м<sup>3</sup>;

$\varphi_{\text{Н}}^*$  - нижня концентраційна межа поширення полум’я, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  - сумарна маса горючих речовин, що надходять до приміщення з апаратів, кг;

$K_{\text{б}}$  - коефіцієнт запасу надійності, дорівнює 2.

Найбільш пожежонебезпечними апаратами з дихальними пристроями є нафтопромислові резервуари, резервуари нафтопроводів, проміжні резервуари, а також резервуари змішування бензинів на нафтопереробних заводах, експлуатація яких супроводжується великою загазованістю території. При цьому найбільш небезпечними технологічними режимами є заповнення резервуарів після їх тривалого простоювання нафтопродуктами, що легко випаровуються, а також наповнення

резервуарів гарячим нафтопродуктом або нафтою, що містять велику кількість газу.

### **3.2.2 Забезпечення пожежної безпеки апаратів з дихальними пристроями**

З метою скорочення втрат горючих рідин, що викидаються назовні пароповітряною сумішшю та зниження рівня пожежовибухонебезпеки при експлуатації апаратів з дихальними пристроями, доцільно здійснювати технічні та організаційні заходи, що дозволяють забезпечити зменшення або повну ліквідацію пароповітряного об'єму, збільшити робочий тиск резервуарів, поєднати дихальні лінії резервуарів з однаковими продуктами в єдину замкнуту систему, здійснювати уловлювання парів, захищати ємності від коливань температури.

**Ліквідація пароповітряного простору в резервуарах.** З формул (3.27) та (3.28) бачимо, що якщо  $V_1=V_2=V=0$ , тоді  $G_M=0$  і  $G_B=0$ . Це досягається застосуванням резервуарів із понтоном або з плаваючою покрівлею (рис. 2.8 та 2.9). Ступінь скорочення втрат від випаровування з таких резервуарів залежить від якості герметизації кільцевих зазорів між плаваючим дахом або понтоном та стінкою резервуара. Втрати від випаровування з таких резервуарів скорочуються до 90 - 95 %.

**Забезпечення сталості об'єму газового простору.** Якщо  $V_1=V_2 \neq 0$ , тоді  $V_2 - V_1 = 0$ ,  $G_B = 0$ . Це можна здійснити за допомогою газової обв'язки двох або більше резервуарів з однаковими рідинами за умов синхронізації операцій спорожнення або наповнення обв'язаних резервуарів (рис.2.10). За допомогою системи трубопроводів, що поєднують газові простори апаратів, здійснюється перехід пароповітряної суміші з резервуарів, що наповнюються, в резервуари, що спорожнюються, і тим самим досягається запобігання або зменшення викидів горючих парів в атмосферу.

**Термоізоляція резервуарів.** Для того, щоб запобігти випаровуванню горючих рідин в результаті малих дихань апаратів, здійснюють заходи, що дозволяють знизити коливан-

ня температури в апаратах. Для цього, наприклад, використовують влаштування підземних резервуарів, в яких  $T_1 = T_2$ ,  $\varphi_1 = \varphi_2$  і згідно формули (3.28)  $G_M = 0$ .

**Фарбування резервуарів світлими променевідбиваючими фарбами.** Срібляста (алюмінієва) фарба майже в два рази знижує втрати, в порівнянні з чорною фарбою.

**Зрошення резервуарів водою** за допомогою спеціальних розпорощувачів. Охолодження дахів та стінок резервуарів у місцевостях з жарким кліматом призводить до зниження втрат у два рази.

**Влаштування систем уловлювання та утилізації парів.** Для цього використовуються абсорбційні, адсорбційні, холодильні та компресорні установки. Принцип роботи цих установок полягає в уловлюванні парів, що виходять з резервуарів при диханні. Наприклад, при використанні абсорберів або адсорберів здійснюється поглинання парів рідини відповідними абсорбентами або адсорбентами (поглиначами), які можна потім видалити і направити знову в технологічний процес. За допомогою цих систем вдається значно зменшити витрати різних розчинників, що використовуються в хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній, машинобудівній промисловості, а також запобігти утворенню вибухонебезпечних концентрацій.

**Влаштування дихальних труб за межами приміщення.** При розміщенні апаратів з дихальними пристроями (мірники, напірні баки, ємності тощо) в приміщеннях дихальні труби виводяться за його межі (рис.3.3), приєднуються до загальної системи з уловлювання парів. Звичайно труби виводяться на 2 м вище рівня даху та захищаються вогнеперешкоджувачами, щоб попередити можливе проникнення полум'я всередину ємності при спалахуванні парів від зовнішніх джерел запалювання. За наявності декількох ємностей можливе поєднання дихальних ліній в єдину магістраль.

**Герметизація газового простору резервуарів дихальними клапанами.** Це технічне рішення дозволяє перш за все

повністю вилучити втрати від вивітрювання парів із негерметичного газового простору і, крім того, різко знизити втрати від малих дихань. Якщо при малому диханні

$$V_1=V_2\neq 0; T_1 \neq T_2; \varphi_1 \neq \varphi_2, \quad (3.37)$$

тоді  $G_M = 0$  за умови:

$$[P_1(1-\varphi_1)/T_1] - [P_2(1-\varphi_2)/T_2] = 0, \quad (3.38)$$

звідки одержуємо умову вилучення викидів парів:

$$P_2 \geq P_1 T_2 (1-\varphi_1) / T_1(1-\varphi_2), \quad (3.39)$$

де  $P_2$  – тиск спрацьовування клапана.

Ефективність роботи дихальних клапанів залежить від величини їх робочого тиску. Для резервуарів з допустимим надлишковим тиском до 2000 Па використовуються дихальні клапани типу КД та СМДК з діаметром умовного проходу 50, 100, 150...350 мм та максимальною пропускнуою здатністю до 600 м<sup>3</sup>/год.

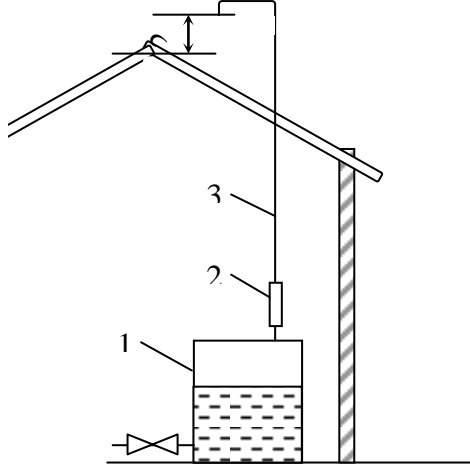


Рисунок 3.3 - Схема виводу дихальної лінії від апарата з рідиною за межі приміщення

1 – резервуар з рідиною; 2 – вогнеперешкоджувач; 3 – дихальна лінія

**Дихальний клапан типу КД** (рис.3.4) складається з корпусу 1, всередині якого на сідлах 4 розміщені тарілка тиску 3 та тарілка вакууму 6. При роботі клапана тарілки рухаються по направляючих штоках. Тиск спрацьовування (підйому) тарілок регулюється за допомогою вантажів 2. Зовнішні отвори клапанів закриті сітками 7.

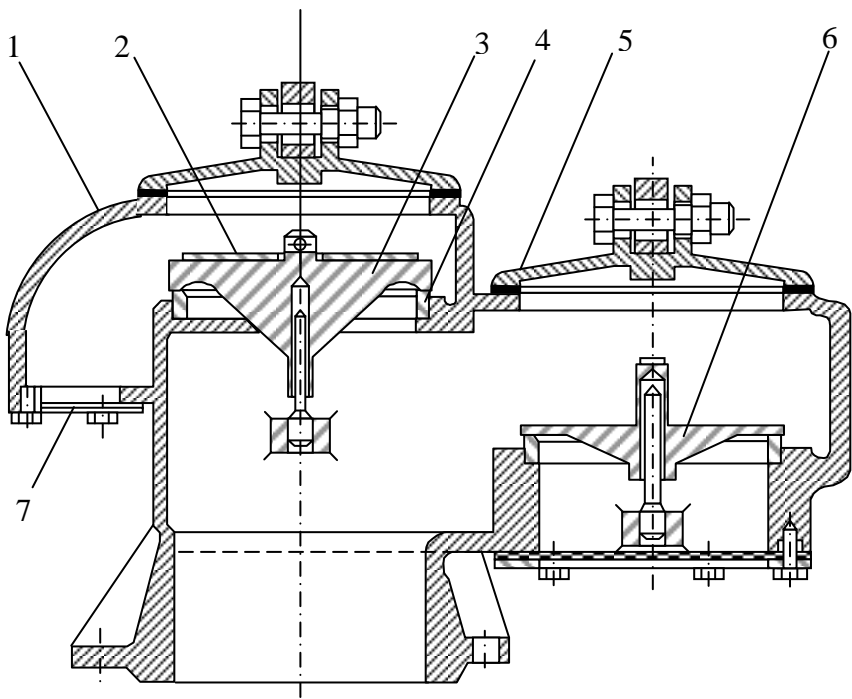


Рисунок 3.4 - Дихальний клапан типу КД:

1 - корпус; 2-вантажі; 3-тарілка тиску; 4- сідло; 5- відкидна кришка; 6- тарілка вакууму; 7- сітка

Клапани типу КД встановлюють на фланці вогнеперешкоджувача типу ОП; у клапанів типу СМДК (сумісний механічний дихальний клапан) касета вогнеперешкоджувача вбудована в корпус клапана, тому у нього нижча посадка, а висота вихлопу над дахом дорівнює приблизно 0,5 м. Доступ до тарілок тиску та вакууму можливий через відкидні кришки 5.

Робота дихального клапана полягає в тому, що при досягненні на затворі розрахункового перепаду тиску, що визначається масою вантажу і площею сідла, тарілка піднімається над сідлом та відкриває прохідний переріз клапана і сполучає резервуар з атмосферою. Свою основну функцію

(захист від вивітрювання газового простору апарата) клапан виконує в положенні „Закрито”.

Практика експлуатації резервуарів показує, що клапани низького тиску дають порівняно невеликий ефект, зменшуючи втрати від випаровування приблизно на 3 -10%. Крім цього, основним недоліком цих клапанів є непрацездатність металевих затворів у осінньо-зимовий період через примерзання тарілок до сідел та направляючих штоків. Через небезпеку руйнування резервуарів у випадку примерзання клапана, тарілки з таких клапанів знімають, що приводить до різкого збільшення втрат від випаровування горючих рідин за рахунок вентиляції газового простору, а також до утворення горючої пароповітряної суміші в газовому просторі резервуара.

Для роботи в зимових умовах резервуари обладнують не-примерзаючими дихальними клапанами типу НДКМ, в якому сідло, направляюча повітря та шток виконані із фторопласта, а тарілка обгорнута фторопластовою плівкою товщиною 0,2-0,3 мм.

**Клапан типу НДКМ** (рис. 3.5) складається з таких основних вузлів та деталей: з'єднувального патрубка 1 з сідлом 3, тарілки 4, що ізольована фторопластовою плівкою, з мембраною 5, зажатою між фланцями нижнього корпусу 2 та верхнього корпусу 6, верхньої мембрани 7, зажатою між фланцями верхнього корпусу 6 і даху 9, з дисками та регулюючими вантажами 8. Диски та тарілка 4 сполучені ланцюгом 11. В кришці 9 є отвір 10 для сполучення камери, що знаходиться під дахом, з атмосферою. Камера, що знаходиться між мембранами, через імпульсну трубку 13 сполучається з газовим простором резервуара. Гнучка ущільнююча поверхня тарілки 4, що виконана з фторопластової плівки, поліпшує герметичність та запобігає примерзанню затвора. Мембрани виготовляють з бензостійкої прогумованої тканини товщиною 0,4-0,6 мм, що зберігає гнучкість навіть при температурі  $-50^{\circ}\text{C}$ . Для запобігання коливань затвора встановлені пружина та демпфер. В нижньому корпусі розташований кільцевий вогнеперешкоджувач 12. Для огляду та обслуговування клапан має боковий люк з кришкою.



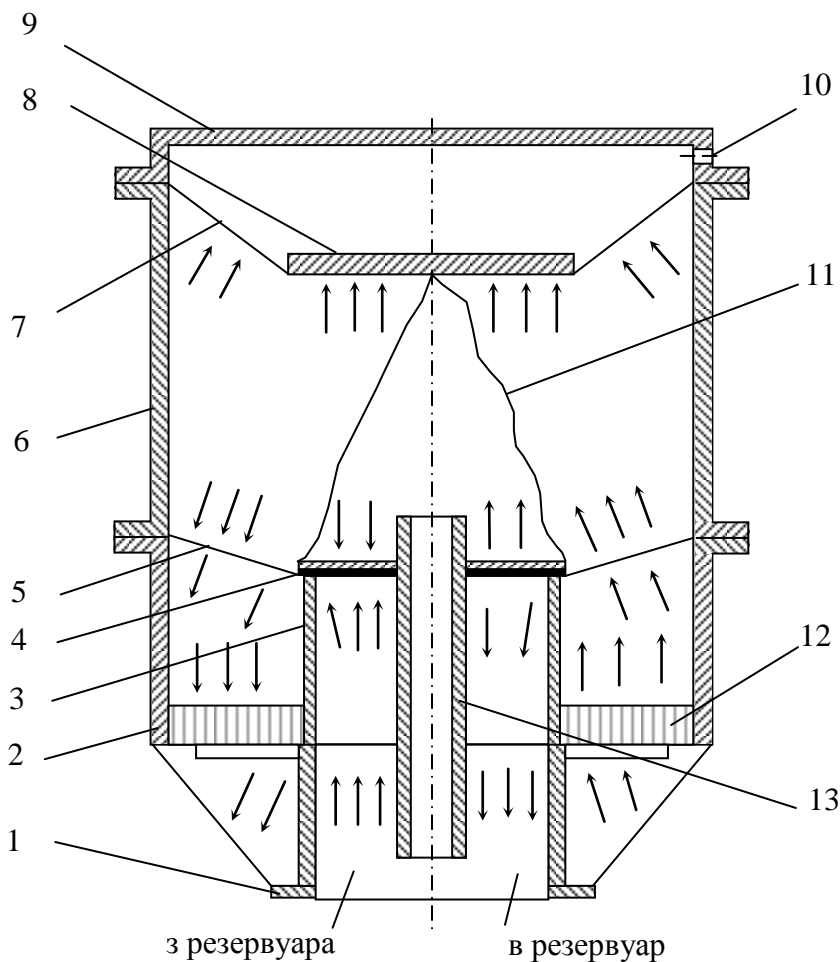


Рисунок 3.5 - Непримерзаючий мембранний клапан типу НДКМ  
 1- патрубок; 2- нижній корпус; 3- сідло; 4- тарілка; 5- мембрана; 6- верхній корпус; 7- верхня мембрана; 8- вантажі; 9- дах; 10- отвір даху; 11- ланцюжок; 12- вогнеперешкоджувач; 13- імпульсна труба

Клапан працює таким чином. При створенні в резервуарі вакууму в камері між мембранами також утворюється вакуум.

Коли вакуум досягне розрахункового значення, маса вузла тарілки 4 буде врівноважена зусиллям від дії атмосферного тиску на нижню поверхню мембрани 5 та на виступаючу за сідло поверхню тарілки. Якщо вакуум буде перевищувати розрахункове значення, тарілка переміститься вгору і поєднає газовий простір резервуара з атмосферою. При зменшенні величини вакууму нижче розрахункової тарілка опуститься на сідло і закrije клапан.

При створенні в резервуарі тиску в камері між мембранами утворюється такий же тиск. З підвищенням тиску сила, що прижимає тарілку до сідла, збільшується і тим самим підвищується герметичність затвора. Одночасно тиск в камері прагне підняти верхню мембрану з вантажними дисками. При розрахунковому тиску мембрана з дисками переміщується вгору, натягує ланцюжки та піднімає тарілку клапана. Із збільшенням витрати через клапан опір вогнеперешкоджувача зростає і тиск в камері (над вогнеперешкоджувачем) створює додаткову силу, що сприяє підніманню тарілки.

Слід зазначити, що дихальні клапани не запобігають великим диханням і тому не здатні запобігти пожежонебезпечній загазованості атмосферного повітря. І в цьому відношенні особливо незадовільною є конструкція клапана типу НДКМ. Викиди з клапанів такого типу направлені вниз, причому на виході з клапана газова суміш проходить через касети вогнеперешкоджувача, розбивається у вузьких каналах на окремі струмені, що мають ламінарний режим руху. З цієї причини потік газу, як потік рідини, виливається на дах резервуара, стікає в обвалування та накопичується на прилеглій території без інтенсивного перемішування з навколишнім середовищем (рис. 3.6,а). Касетні вогнеперешкоджувачі, що встановлені на дихальних лініях створюють не тільки додаткові гідравлічні опори, але і обумовлюють ламінарний режим витoku суміші в атмосферу, внаслідок малого діаметру гасячих каналів (рис. 3.6, б).

Запобігання вивітрювання парів з газового простору та зниження пожежної небезпеки навколо резервуара може бути

досягнуто шляхом заміни типових дихальних клапанів лабіринтними пристроями та дихальними патрубками мінімального діаметра з вертикальним або горизонтальним викидом турбулентного струменя газу.

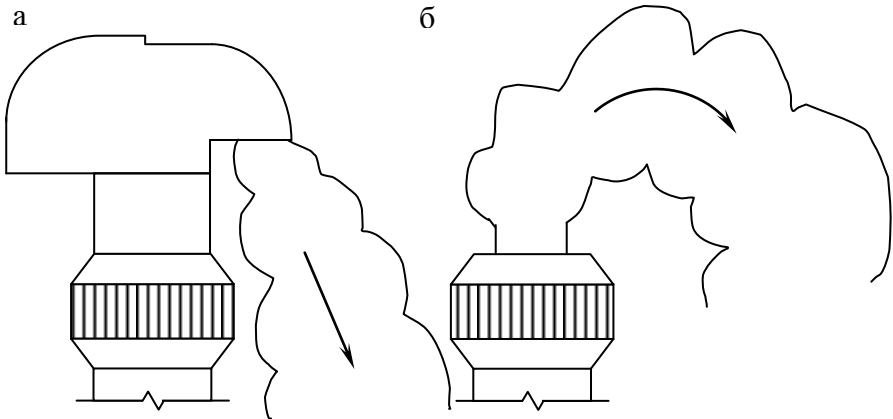


Рисунок 3.6 - Схеми дихальних пристроїв

а – с дихальним клапаном або захисним ковпаком; б – з вогнеперешкоджувачем

Для зменшення глибини проникнення повітря в газовий простір резервуарів при відкачуванні горючих рідин (наприклад, нафтопродуктів) використовують диски-відбивачі, які змінюють напрямок струменя повітря, що направляється до резервуара, з вертикального на горизонтальний.

Диск-відбивач, що підвішується в газовому просторі резервуара під монтажним патрубком дихальної арматури, не дозволяє струменю повітря безперешкодно розповсюджуватися в газовий простір резервуара. Найбільш насичені шари газового простору, що розміщаються біля поверхні горючої рідини, в перемішуванні не беруть участі. Це зменшує швидкість випаровування з поверхні рідини і концентрацію парів суміші, що витискається з резервуара при його закачуванні. Наприклад, диск-відбивач, що установлений на резервуарі РВС-5000 з бензином, знижує середню концентрацію бензину у суміші,

що виходить з резервуара, приблизно в 3 рази, а втрати від випаровування – в середньому на 30-40%.

### **3.3 Апарати періодичної дії**

У технологічних процесах виробництв нерідко використовуються апарати періодичної дії. До таких апаратів відносяться змішувачі, екстрактори, ксантогенатори, клейомішалки тощо. За всіх інших рівних умов апарати періодичної дії являють собою велику пожежну небезпеку в порівнянні з апаратами безперервної дії, що перш за все пов'язано з нестабільністю параметрів процесів, недостатньою їх механізацією та автоматизацією.

#### **3.3.1 Пожежна небезпека апаратів періодичної дії**

Апарати періодичної дії перед початком робочого циклу завантажуються горючими речовинами, у процесі роботи з'являється необхідність брати проби речовин, що обробляються, на аналіз, а по закінченні процесу апарат повинен розвантажуватися та готуватися до наступного циклу. Експлуатація таких апаратів пов'язана з необхідністю відкривання люків, кришок, завантажувальних і розвантажувальних пристосувань і виходом при цьому назовні певної кількості горючих речовин з утворенням у приміщеннях або на відкритих площадках горючого середовища. Крім цього, здійснення процесів в періодично діючих апаратах, як правило, пов'язане з багаточисельними переключеннями арматури, під час яких велика ймовірність помилкових дій персоналу, що приводять до аварій та аварійних ситуацій.

Аналіз пожеж та вибухів показує, що при здійсненні періодичних процесів часто допускаються помилки при підготовці сировини та її завантаженні. Подача понад норми сировини часто є причиною переповнення апаратів легкозаймистими та горючими рідинами, що приводить до вибухів і пожеж на виробництві. Вибух або пожежа можливі також

внаслідок помилкового розвантаження апаратів при незакінченому процесі або за наявності значної кількості горючої сировини. Типовим апаратом періодичної дії є змішувач, який використовується для приготування гумового клею (розчин каучука в бензині) з температурним режимом роботи близько  $30^{\circ}\text{C}$  та при робочому тиску  $0,1$  МПа. В процесі розчинення концентрація парів розчинника в апараті буде вище верхньої концентраційної межі поширення полум'я, бо робоча температура значно вище верхньої температурної межі поширення полум'я бензину. Розвантаження готової маси здійснюється перекиданням апарата при відкритій кришці. Відкривання кришки змішувача призведе до виходу парів легкозаймистої рідини назовні, утворення місцевих небезпечних концентрацій поблизу апарата, а також і усередині апарата при надходженні до нього повітря.

Пожежна небезпека таких апаратів обумовлюється не тільки пожежонебезпечними властивостями речовин, що використовуються, але і кількістю парів ЛЗР та ГР, що виходять з апаратів за нормальних умов експлуатації.

Кількість парів рідини, що виходить з апарата, визначається в залежності від характеру операції, що виконується. Так, операція завантаження апаратів супроводжується витисненням парів, відкривання люків (кришок) - скиданням надлишкового тиску або проникненням в апарат повітря (якщо апарат працював під вакуумом), розвантаження в тару - випаровуванням з відкритої поверхні.

Кількість горючих парів, що виходять з апарата назовні при відкриванні люків або іншого улаштування для завантаження або розвантаження продукту, визначається за формулою (3.40).

У нашому випадку об'єм пароповітряного простору апарата перед завантаженням не змінюється (тобто  $V_1=V_2=V_B$ ), тиск під час відкривання кришки буде змінюватись від  $P_p$  до  $P_{\text{АТМ}}$ , температура в апараті не змінюється (тобто  $T_1=T_2=T_p$ ), звідки і концентрація парів рідини не зміниться і буде дорівнювати  $\varphi_1=\varphi_2=\varphi_S$ , отже

$$G_p = V_v \cdot \frac{\varphi_s}{T_p} \cdot (P_p - P_{\text{бар}}) \cdot \frac{M}{R}, \quad (3.40)$$

де  $G_p$  - кількість парів, що виходять з апарата при його відкриванні, кг/цикл;

$V_v$  - внутрішній вільний об'єм апарата, заповнений парою або газом під тиском,  $\text{м}^3$ ;

$\varphi_s$  - концентрація насичених парів, об. частки, % об;

$P_p$  - робочий тиск в апараті, Па;

$P_{\text{бар}}$  - атмосферний (барометричний) тиск, Па.

$$P_o \approx P_{\text{бар}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$M$  - молекулярна маса парів або газу, кг/кмоль;

$R = 8314,31$  - універсальна газова стала, Дж/кмоль·К.

Розвантаження продуктів з апаратів у тару (іноді з розливом рідини) також супроводжуються виділенням парів або газів, кількість яких можна визначити, припускаючи, що відбувається випаровування з вільної поверхні в нерухоме і рухоме середовище за формулами відповідно 3.16 та 3.18.

Процес завантаження горючих речовин в апарати супроводжується витисненням назовні певної кількості газоповітряної суміші, яку можна визначити як і для апаратів, де можливі втрати при великих диханнях згідно 3.34.

Таким чином, при експлуатації періодично діючих апаратів горюче середовище утворюється в період їх розвантаження або при відборі проб через люки та кришки (виділення в об'єм приміщення парів або газів), а також при їх завантаженні (витиснення назовні газоповітряної суміші).

### **3.3.2 Протипожежні заходи при експлуатації апаратів періодичної дії**

При організації та здійсненні періодичних пожежовибухонебезпечних процесів особлива увага повинна приділятися підготовці апаратів та сировини до процесів, якості та надійності систем завантаження та розвантаження.

Для зниження пожежовибухонебезпеки апаратів періодичної дії доцільно застосовувати такі технічні рішення.

**Заміна періодично діючих апаратів.** Там, де це можливо за умовами технологічного процесу, замінити апарати періодичної дії герметичними апаратами безперервної дії.

**Герметизація завантажувальних та розвантажувальних пристроїв.** Розвантаження апаратів від готової продукції краще здійснювати не відкритим способом, а по розвантажувальних трубах у приймальні бункери або в закриту тару.

**Обладнання апаратів системами відсмоктування парів і газів.** На апаратах з відкритим завантаженням та розвантаженням влаштовують системи відсмоктування парів і газів з їх внутрішнього об'єму з наступним видаленням вакууму подачею інертного газу.

**Захист внутрішнього об'єму апарата інертним газом.** Якщо проводиться відкрите розвантаження апаратів, необхідно здійснювати захист внутрішнього об'єму апарата інертним газом протягом всього періоду роботи. При зупинці розвантажувальних апаратів на тривалий термін необхідно їх зачистити від залишків продукту, продути інертним газом або заповнити водою.

**Обладнання місць виходу парів та газів ( кришки, що відчиняються, люки для відбору проб тощо) місцевими системами відсмоктування.**

У місцях розміщення апаратів періодичної дії (особливо з відкритим розвантаженням та завантаженням горючих речовин) повинні знаходитися стаціонарні установки пожежогасіння локальної дії.

### 3.4 Пожежна безпека апаратів, що працюють під надлишковим тиском

При експлуатації герметичних апаратів та ємностей, що знаходяться під тиском, навіть при їх справному стані завжди є вихід горючих речовин через прокладки, шви, сальники, роз'ємні і нероз'ємні з'єднання та інші місця. Це пояснюється тим, що навіть при самій ретельній обробці прилеглих одна до одної поверхонь не можна створити абсолютну непроникність. При стиканні двох поверхонь через неякісну обробку матеріалів обладнання утворюється велика кількість капілярних каналів, по яких буде відбуватися витік горючих газів та рідин.

Величина витоку горючих речовин буде залежати, головним чином, від режиму роботи апарата та стану ущільнень. Підрахувати такі втрати дуже важко, бо неможливо встановити кількість капілярів та їх розміри.

Для приблизного визначення витоку парів або газів з герметичних апаратів, що працюють під тиском, можна використати формулу (3.41), в якій приймається, що вихід парів та газів через нещільності здійснюється адіабатично у відповідності до законів витоку через невеликі отвори. Ця формула використовується при проектуванні загальнообмінної припливно - витяжної вентиляції на виробництві:

$$I_p = K_3 \cdot K_p \cdot V_B \cdot \sqrt{\frac{M}{T_p}}, \quad (3.41)$$

де  $I_p$  - інтенсивність виходу парів або газів з апарата, що працює під тиском, кг/с;

$K_3$  - коефіцієнт, що враховує ступінь зносу обладнання, змінюється в межах від 1 (нове обладнання) до 2 (зношене обладнання);

$K_p$  - коефіцієнт, що залежить від тиску середовища в апараті (значення коефіцієнта наведені в табл. 3.1);



$V_V$  - внутрішній вільний об'єм обладнання, заповнений паром або газом під тиском,  $m^3$ ;  
 $T_p$  - температура пари або газу, що знаходяться в апаратах,  $^{\circ}K$ ;  
 $M$  - молекулярна маса парів або газів,  $кг/кмоль$ .

Таблиця 3.1 - Значення коефіцієнта  $K_p$

Робочий тиск, МПа	Менше 1	1	6	16	40	160	400	1000
Величина $K_p$	0,121	0,166	0,182	0,189	0,152	0,298	0,297	0,370

Для визначення маси парів або газів, що виділяються з працюючих під тиском герметичних апаратів за певний період роботи, можна використати формулу:

$$m_p = I_p \cdot \tau, \quad (3.42)$$

де  $m_p$  - маса парів або газів, що виділяються з апаратів, які працюють під тиском,  $кг$ ;

$I_p$  - інтенсивність виходу парів або газів з апарата, що працює під тиском,  $кг/с$ ;

$\tau$  - час роботи апарата,  $с$ .

Вихід горючих парів або газів при нормальному герметичному ущільненні апаратів, як правило, не викликає реальної пожежної небезпеки завдяки швидкому розсіюванню парів (газів) за наявності повітрообміну. Але у місцях тривалого виходу парів та газів можливе утворення локальних пожежонебезпечних концентрацій.

Слід зазначити, що незначні витоки горючих газів можуть приводити до загорянь, що, в свою чергу, приводить до послаблення затягування болтів, деформації або загоряння ущільнюючих прокладок, розгерметизації ущільнень та поширення

пожежі на виробництві. Особливо це стосується фланцевих з'єднань на трубопроводах горючих рідин та газів. Фланцеві (роз'ємні) з'єднання використовуються для сполучення окремих ділянок трубопроводів, а також для установки арматури, приладів контролю та автоматики і забезпечують належну герметичність стиків, зручність їх підтягування, надійну міцність, можливість використання для широкого інтервалу тисків, а також можливість багаторазової розборки та зборки (рис.3.7).

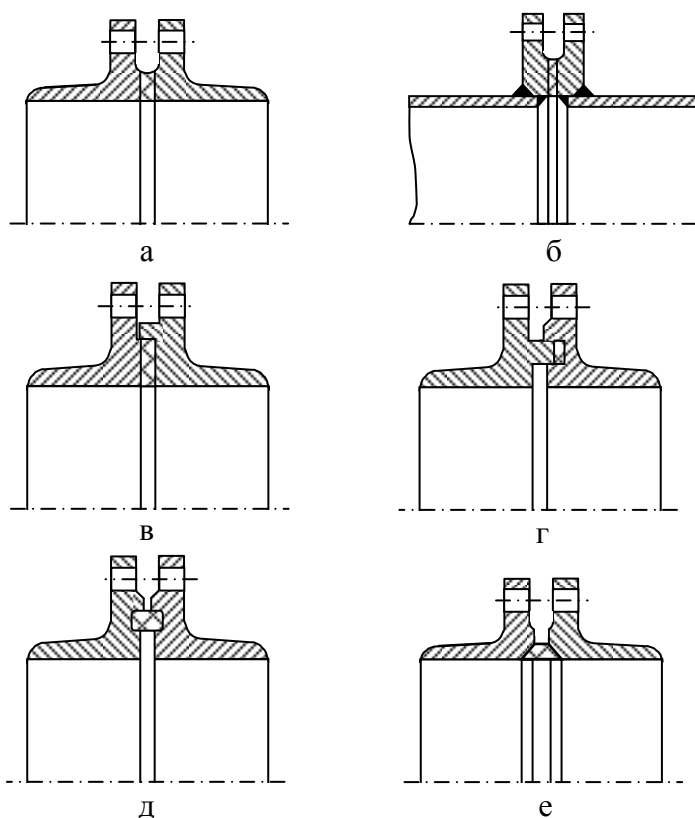


Рисунок 3.7 - Фланцеві з'єднання основних типів  
 а-плоскі приварні встик; б- плоскі приварні накидні; в- плоскі приварні встик типу виступ-впадина; г- плоскі приварні встик

типу шип-паз; д - плоскі приварні встик з прокладкою овально-го перерізу; е - плоскі приварні встик з лінзовою прокладкою

Але поряд з цим ці з'єднання мають і деякі недоліки: втрати герметичності при вібрації трубопроводу, великі габарити та маса, труднощі при зборці.

Витоки горючих газів та парів можуть також бути через арматуру, що призначена для переключень потоків рідин та газів, а також для відключення окремих ділянок трубопроводів та апаратів при ремонтах, аваріях тощо. В залежності від функцій, що виконуються, арматуру поділяють на запірну (зворотні та запобіжні клапани), дроселюючу та регулюючу. У зв'язку з тим, що на трубопроводах технологічних та енергетичних установок арматура експлуатується дуже інтенсивно під впливом високих та низьких температур, тиску, вібрацій, агресивних середовищ, герметичність з'єднань арматури з трубопроводом порушується і відбувається виток рідини або газу. Виток горючих речовин через ущільнюючі поверхні запірних пристроїв може також бути через потрапляння твердих часток, окалини тощо.

Пожежну небезпеку представляють також апарати, які мають механізми, що рухаються (колеса насосів та компресорів, лопатки мішалок, гвинти шнеків тощо), вали або штоки, що проходять через корпус апарата з відповідними сальниковими ущільненнями. Створити належну герметизацію таких апаратів дуже важко, тому при їхній роботі завжди спостерігається витік горючих речовин назовні. Так, за даними досліджень, середні виділення парів або газів на один насос складають: для темних нафтопродуктів при температурі 100-350<sup>0</sup>С – 500 г/год важких вуглеводнів; для світлих нафтопродуктів при 60<sup>0</sup>С - 1000 г/год легких вуглеводнів; для скраплених газів – 2500 г/год бутан-бутилену; для бензолу – 450 г/год парів бензолу.

Кількість горючої рідини, що просочується через сальникові ущільнення, приблизно можна визначити розрахунком за емпіричними формулами. Так, для поршневих насосів,

що перекачують легкі, холодні нафтопродукти, виток буде дорівнювати:

$$G = A\sqrt{P}, \quad (3.43)$$

де  $G$  - кількість рідини, що проходить через сальник штока на 1 мм змоченого периметра штока, г/год;

$A$  – коефіцієнт, що залежить від стану сальника та властивостей рідини, для легколетючих рідин за нормального стану сальників  $A \approx 5,0$ , для бензину та гасу  $A \approx 2,5$ ;

$P$  – тиск, що створюється в насосі, Па.

Витоки через сальники відцентрових насосів при перекачуванні легких фракцій нафти можна визначити за формулою:

$$G = 0,005 \cdot d \cdot \rho \cdot K \sqrt{P}, \quad (3.44)$$

де  $G$ - кількість рідини, що виходить через сальники насоса, кг/год;

$d$ - діаметр вала насоса, м;

$\rho$ - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$K$  - коефіцієнт випаровування рідини;

$P$ - робочий тиск в насосі, Па.

Концентрацію горючих речовин у виробничому приміщенні з урахуванням того, що інтенсивність їхнього виходу з апаратів відносно мала, а самі речовини рівномірно розподіляються у всьому об'ємі приміщення, можна визначити за формулами:

- за відсутності повітрообміну в приміщенні:

$$\varphi_D = \frac{m}{V_B}, \quad (3.45)$$

- за наявності повітрообміну в приміщенні:

$$\varphi_D = \frac{3600 \cdot m}{V_B \cdot A \cdot \tau}, \quad (3.46)$$

де  $\varphi_{\text{д}}$  - дійсна концентрація горючих речовин у приміщенні,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$m$  - сумарна маса горючих речовин, що надходять у приміщення з апаратів,  $\text{кг}$ ;

$A$  - кратність вентиляції,  $\text{год}^{-1}$ .

$V_{\text{в}}$  - вільний об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ ;

$\tau$  - тривалість роботи апарата,  $\text{с}$ .

Для підвищення герметичності технологічного обладнання, що працює під тиском, необхідно:

- для **нероз'ємних з'єднань використовувати зварювання, пайку, розвальцювання;**

- **забезпечити щільність фланцевих з'єднань за допомогою прокладок.** Герметичність фланцевих з'єднань, що працюють при умовних тисках до 4 МПа, забезпечується плоскими або гофрованими прокладками, що виготовляються із пароніту, картону, азбесту, фторопласту та полімерних матеріалів. Вибір прокладочних матеріалів здійснюється з врахуванням величини робочої температури, тиску, властивостей речовин та стійкості при впливу температури пожежі. Для умовних тисків вище 6,4 МПа використовують металеві прокладки овального перерізу та лінзові ущільнення. Для паропроводів, трубопроводів гарячої води, нафтопродуктів та інших улаштувань широко використовуються прокладки із пароніту. Основні типи прокладок, що використовуються для фланцевих з'єднань, наведені на рис. 3.8.

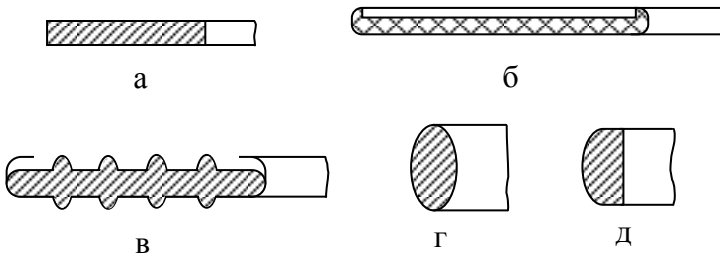


Рисунок 3.8 - Основні типи прокладок для фланцевих з'єднань

а-плоска із пресованого азбесту; б- плоска металева оболонка з азбестовим заповненням; в- гофрована металева оболонка з азбестовим заповненням; г- овального перерізу; д- напівкруглого перерізу суцільнометалева

- для зменшення втрат при перекачуванні легкозаймистих рідин та скраплених газів вали насосів ущільнювати як звичайними сальниками з м'якою набивкою, так і торцевими ущільненнями (особливо при перекачуванні скраплених газів). На рис. 3.9. показана конструкція сальника з м'якою набивкою та рубашкою для охолодження. В камері сальника знаходиться еластична набивка 5, що складається з розрізаних кілець. В середню частину набивки встановлюють спеціальне кільце 4 (ліхтар), що має радіально розміщені отвори. В основі сальникової камери з боку проточної частини насоса розміщена ґрундбукса 7, зазор між якою та захисною гільзою 3, що захищає вал 6 від зносу, складає 0,2-0,3 мм. Ущільнення між захисною гільзою вала та корпусом насоса досягається підтисканням еластичної набивки 5 втулкою 2. Для відводу тепла, що виділяється при терті набивки об гільзу вала, в корпусі насоса 1 передбачені канали 8 навколо сальника для підведення охолоджуючої води. Температура ущільнюючої рідини на вході досягає  $35^{\circ}\text{C}$  та на виході  $50^{\circ}\text{C}$ . Недоліком цієї конструкції є недостатня герметичність. Тому для перекачування скраплених газів та легких фракцій нафтопродуктів використовують одинарні та подвійні торцеві ущільнення відцентрових насосів.

На рис. 3.10 показана конструкція подвійного торцевого ущільнення, в якому герметичність між валом та корпусом забезпечується двома торцевими поверхнями, між якими здійснюється тертя, рухомих 6,13 та нерухомих 12, 17 втулок. Напруження, які виникають від пружини 9 та від тиску ущільнюючого масла, що циркулює через камеру торцевого ущільнення, передаються від втулок 8,15, що нажимаються до втулок 6,13, що обертаються. Ущільнююча рідина (масло) охолоджує та змащує торці обертаючих та нерухомих втулок, а також допомагає пружині створювати необхідне стиснення.

Тиск рідини в камері торцевого ущільнення на 0,05-0,15 МПа перевищує тиск продукту, що перекачується. Перепад тисків підтримується автоматично регулятором тиску.

При перекачуванні рідин та скраплених газів при температурі вище 220<sup>0</sup>С дуже важко забезпечити герметичність в площині горизонтального роз'єму корпусу, що обумовлюється тепловим розширенням деталей насоса та трубопроводів. Тому гарячі насоси мають подвійний корпус. Зовнішній корпус виготовлений з високолегованої сталі і представляє собою герметичний тривкий кожух, а внутрішній – литий, зібраний з секцій корпус. При змінах температури обидва корпуси можуть подовжуватися незалежно один від одного

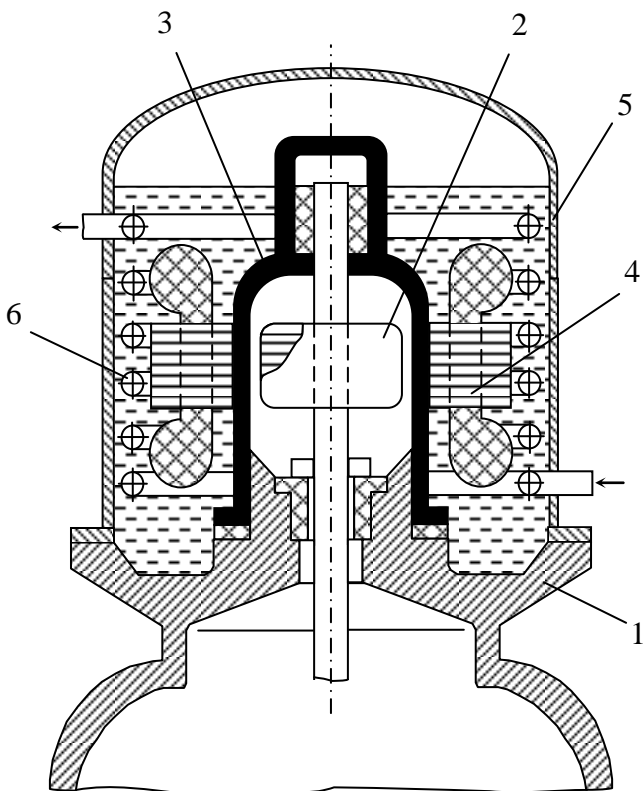


Рисунок 3.11- Апарат з екранованим електродвигуном  
 1-корпус апарата; 2- ротор електродвигуна; 3-герметизуюча гільза із немагнітного матеріалу; 4-статор; 5-корпус масляної ванни; 6-система охолодження масла

- застосовувати **безсальникові, мембранні машини** (наприклад, мембранні насоси, рідинні та газові ежектори, пристрої з екранованими електродвигунами). На рис. 3.11. показана схема апарата з екранованим електродвигуном. Асинхронний короткозамкнений електродвигун має в зазорі між статором та ротором перегородку (гільзу) циліндричної форми, яка герметично ізолює внутрішній об'єм апарата та вал з ротором від статора двигуна. Обертання вала досягається через



магнітне поле, що передає крутильний момент через екрановану гільзу на ротор робочого органу машини або апарата, вал якого при цьому не виходить з корпусу і тому не потребує ніяких ущільнень.

### **3.5 Пожежна профілактика при виході горючого пилу у приміщення**

Найбільшу руйнівну силу мають вибухи пилу, що виникають у виробничих приміщеннях. Відомо, що в цих умовах вибухи дуже часто мають „естафетний” характер: невеликий хлопок приводить до завихрення відкладень пилу на будівельних конструкціях, апаратах, технологічних комунікаціях. При цьому утворюються хмари пилу великого об’єму, що й при згорянні створюють ударні хвилі, від яких руйнуються несучі конструкції будівель.

Перші систематичні дослідження пожежовибухонебезпеки виробництв, що пов’язані з виходом пилу в приміщення, виконані М.Г. Годжелло. Його дослідження присвячені вивченню пожежовибухонебезпечних властивостей промислового пилу (аерозависі та аерогелю), розробці методики оцінки пожежовибухонебезпеки виробництв, що пов’язані з пилоутворенням та з виготовленням порошкової продукції. За даними М.Г. Годжелло, вибухонебезпечними виробництвами є борошномельні, комбікормові, цукрові та інші заводи, виробництва полімерних матеріалів, подрібнювальні, сушильні, змішувальні відділення харчової, фармацевтичної та хімічної промисловості, пилоприготувальні установки, що переробляють тверде паливо і руду тощо. Серед технологічного обладнання, що характеризується обертанням великої кількості пилу, навіть за нормальних умов роботи, слід виділити стрічкові транспортери, норії, подрібнювальні (дробарки, кульові млини), сушильні установки.

При вивченні питання щодо виходу горючого пилу у виробничі приміщення основну увагу необхідно приділяти оцінці запилення приміщення з врахуванням осілого пилу (аерогелю),

що може тліти та горіти, створюючи при цьому пожежну небезпеку, а за визначених умов переходити у завислий стан, утворюючи з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Для визначення запилення приміщень можна використати наступний спосіб: на поверхнях з відкладеннями пилу (обладнання, будівельні конструкції, підлоги) вимірюють товщину шару осілого пилу та площу запиленої поверхні; загальну площу поверхонь з відкладеннями пилу множать на середню товщину шару і одержують загальний об'єм пилу; відбирають проби пилу і визначають об'ємну або насипну вагу; множать об'єм відкладеного пилу на його вагу і, таким чином, одержують його загальну масу; визначають максимально можливу концентрацію пилу в об'ємі всього приміщення або максимальний об'єм вибухонебезпечної пилоповітряної суміші.

Розглянемо на наступному прикладі один із способів оцінки рівня запилення виробничого приміщення.

На одному із об'єктів, в місцях, що недоступні для прибирання (в нішах високо розміщених вікон), було виявлено шар відкладень пилу товщиною 15 мм. Таких вікон в приміщенні було 23 загальною площею поверхні 14 м<sup>2</sup>. Насипна вага пилу – 0,19. Підрахунки показали, що залягання цього пилу перевищують 40 кг, і при переході у завислий стан в об'ємі всього приміщення (близько 1400 м<sup>3</sup>) можуть утворити концентрацію до 28 г/м<sup>3</sup>, що майже у два рази перевищує нижню концентраційну межу поширення полум'я для цього пилу ( $\varphi_n = 15 \text{ г/м}^3$ ).

Пожежовибухонебезпеку технологічного обладнання, що пов'язане з підвищеним пилоутворенням, можна оцінити на прикладі стрічкового транспортера (табл.3.2), при огляді якого виявлено пилоутворення під стрічкою. З даних таблиці видно, що запилення в декілька разів перевищує величину нижньої концентраційної межі поширення полум'я .

Таблиця 3.2 - Оцінка пожежовибухонебезпеки стрічкового транспортера

Найменування пиловидної продукції	Знайдена концентрація пилу в осередку, г/м <sup>3</sup>	Нижня межа поширення полум'я, г/м <sup>3</sup>
Шрот соняшниковий	101,0	22,7
Сіно	78,0	22,7
Просяні відходи	40,9	30,2
Готова брикетна продукція	57,7	7,6
Пил від млина	86,0	10,1

Кількість пилу, що виділяється із технологічного обладнання та накопичується у виробничих приміщеннях, залежить від особливостей технологічного процесу (виду та кількості працюючого обладнання, середньої тривалості його роботи, властивостей матеріалу, що обробляється, його кількості), а також від ефективності поточних та капітальних пилоприбиральних робіт. Ефективність цих робіт оцінюється коефіцієнтом  $K_{\Pi}$  (табл.3.3).

Таблиця 3.3 - Значення коефіцієнта ефективності пилоприбирання

Вид прибирання	$K_{\Pi}$
Сухе	0,6
Мокре	0,7
Механізоване пересувними пилоприбиральними засобами для підлоги	0,8
Централізоване пневматичне за допомогою стаціонарного пилососного апарата	0,9

Масу відкладеного у виробничому приміщенні горючого пилу можна визначити за формулою:

$$m_{\Pi} = \frac{K_{\Gamma}}{K_{\Pi}} (m_1 + m_2), \quad (3.45)$$

де  $K_r$  - частка горючого пилю у загальній масі відкладеного пилю. За відсутністю експериментальних даних можна приймати  $K_r = 0,9$ ;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт ефективності пилоприбирання;

$m_1$  – маса пилю, який осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період між капітальними прибираннями, кг;

$m_2$  - маса пилю, що осідає на доступних для прибирання поверхнях в приміщенні за період між поточними прибираннями, кг.

Масу осілого пилю  $m_i = (1,2)$  можна визначити з наступного виразу:

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \cdot \beta_i, \quad (i=1,2), \quad (3.47)$$

де  $M_1 = \sum M_{1j}$  - маса пилю, що виділяється в об'єм приміщення за період між капітальними прибираннями, кг;

$M_{1j}$  – маса пилю, що виділяється одиницею обладнання, кг;

$M_2 = \sum M_{2j}$  - маса пилю, що виділяється в об'єм приміщення за період між поточними прибираннями, кг;

$M_{2j}$  - маса пилю, що виділяється одиницею обладнання за вказаний період, кг;

$\alpha$  – частка пилю, що видаляється з приміщення витяжною вентиляційною системою. Допускається приймати  $\alpha = 0$ ;

$\beta_1, \beta_2$  – частки пилю, що виділяється в приміщення і осідає відповідно на важкодоступних та доступних для прибирання поверхнях ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ). Якщо відсутні дані про числові значення коефіцієнтів  $\beta_1, \beta_2$ , допускається приймати  $\beta_1 = 1, \beta_2 = 0$ , [5].

Величина  $M_i$  ( $i=1,2$ ) також може бути визначена експериментально в період максимального навантаження обладнання за формулою

$$M_s = \sum (G_{ij} \cdot F_{ij}) \cdot \tau_i \quad (i=1,2), \quad (3.48)$$

де  $G_{1j}$ ,  $G_{2j}$  – інтенсивність пиловідкладень відповідно на важкодоступних  $F_{1j}$ , ( $m^2$ ) та доступних  $F_{2j}$  ( $m^2$ ) поверхнях,  $kg \cdot m^{-2} \cdot c^{-1}$ ;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – відрізок часу відповідно між капітальними та поточними прибираннями пилу, с.

Дані формули дають можливість визначити періодичність капітальних прибирань, що запобігають накопиченню пилу в приміщенні, а також використовуються для розрахункового обґрунтування категорії приміщень з обертанням горючого пилу за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Основні профілактичні заходи щодо зниження пожежо-вибухонебезпеки запиленних виробничих приміщень:

- **перехід на технологічні процеси з меншим виділенням пилу;**
- **використання знепилюючих пристроїв;**
- **регулярне прибирання приміщень від пилу.**

Найбільш кардинально проблема знепилення вирішується створенням герметичного обладнання, експлуатація якого в нормальних умовах технологічного процесу виключає виділення пилу у виробничі приміщення. Але за тривалої експлуатації обладнання або за наявності операцій розвантаження, завантаження уникнути виходу дрібнодисперсних (найбільш небезпечних) частинок з обладнання в приміщення не вдається. Відомо, що для приміщення об'ємом, наприклад,  $1000 m^3$  небезпечним є накопичення 2,0-2,5 кг пилу органічних речовин [6]. В цих випадках необхідно вживати заходів для своєчасного видалення пилу, не допускаючи накопичення його в небезпечній кількості.

Зменшенню накопичень пилу сприяє влаштування внутрішніх конструкцій будівель (підлог, стель та стін) максимально гладкими, вилучення з приміщень балок, ферм та інших

виступаючих конструкцій. Накопиченню значної кількості пи-лу можуть також сприяти його адгезійні властивості. Тому при розробці пожежно-профілактичних заходів необхідно оцінити можливість проявлення цих властивостей і розробити способи, що запобігають налипанню частинок на поверхні технологічного обладнання та на будівельні конструкції.

Для запобігання накопичень значної кількості відкладень пи-лу використовують промислову вентиляцію, за допомогою якої забезпечують видалення пи-лу з виробничих приміщень у спеціальні пилоуловлювачі.

Пил уловлюється в **фільтрах, циклонах, пилоуловлювачах** та іншому обладнанні.

Установка для пилоуловлювання складається із наступних елементів:

- пристрою для уловлення пи-лу, який може складатися з одного або декількох приймальників;
- мережі трубопроводів;
- вентилятора, що відсмоктує пил по трубопроводах до пилоочисної установки.

Ефективність запилення газових потоків, особливо з високодисперсним пилом, можна значно підвищити фільтрацією газів через пористі перегородки або інші фільтрувальні матеріали, що складаються насамперед із волокнистих або зернистих елементів.

В промисловості використовуються **тканинні, зернисті фільтри, електрофільтри**. Вхідна концентрація пи-лу в таких фільтрах до  $100 \text{ г/м}^3$  і більше. Для пилоуловлення частіше використовують тканинні фільтри, що мають високий ступінь очистки, середні капітальні та експлуатаційні витрати. За формою фільтрувальних елементів тканинні фільтри розподіляють на рукавні, плоскі, дискові та інші; за способом регенерації тканини – з механічним струшуванням, віброструшуванням.

Тканинні фільтри частіше працюють під розрідженням (всмоктуючі). В них вентилятор встановлений після фільтра, що дозволяє зменшити ерозійний знос вентилятора і на випадок витоку – запобігти попаданню пилу у приміщення. В якості матеріалу для тканин використовуються як природні, так і штучні волокна. Сьогодні широке використання знайшли синтетичні волокна завдяки їх високій тривкості, стійкості до агресивних середовищ та низькій вартості.

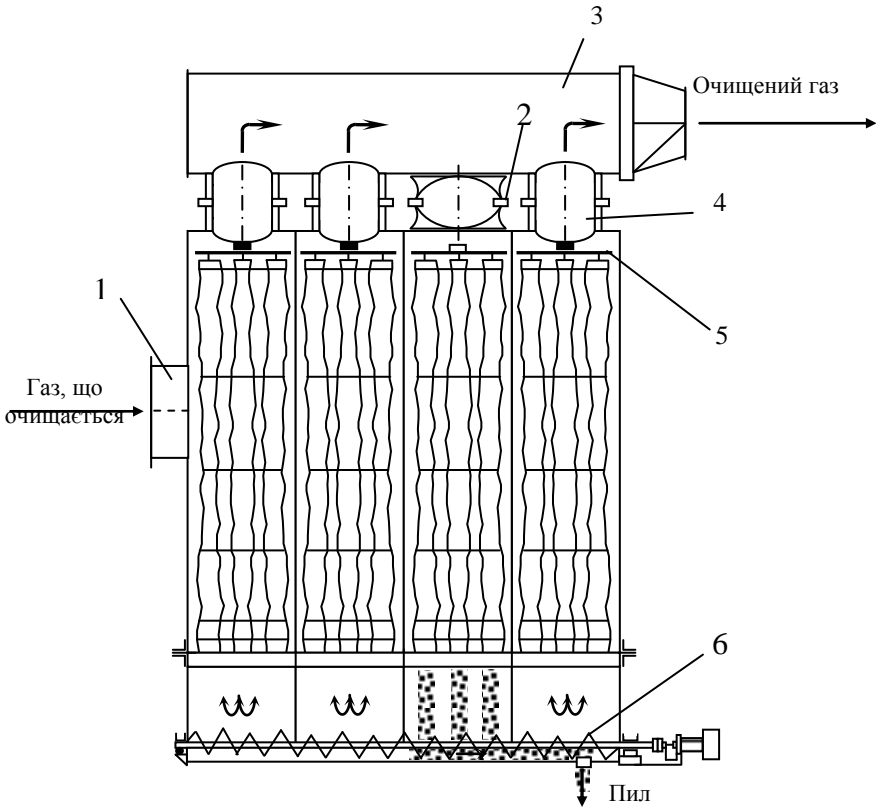


Рисунок 3.12 - Багатосекційний рукавний фільтр

1 - вхідний газохід; 2 - механізм струшування при регенерації; 3 - вихідний газохід; 4 - секційний клапан; 5 – рама підвісу рукавів; 6- шнек видалення пилу з електроприводом

Найбільш ефективним засобом боротьби з пилоутворенням на технологічному обладнанні є місцеве знепилення, що здійснюється за допомогою **циклонів** (рис. 3.13). В цих апаратах використовується відцентрова сила, що розвивається при обертально-поступальному руху газового потоку. Під дією цієї сили частинки пилу підводяться до стінки циклона і разом з частиною газів (повітря) попадають в бункер. Частина газів, що попала до бункеру, звільняється від пилу під дією сил інерції при зміні напрямку руху газів на  $180^{\circ}$  і повертається до циклону.

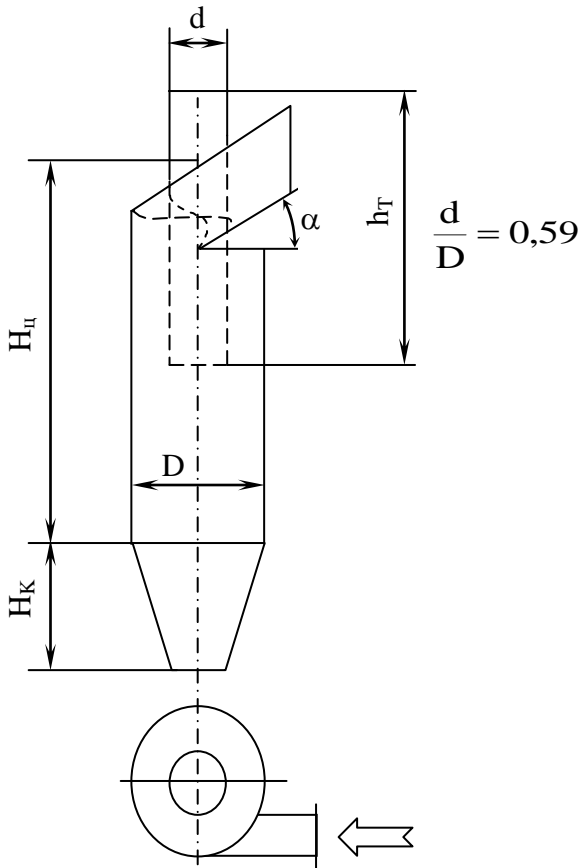


Рисунок 3.13 – Циклон



Так, наприклад, для влаштування місцевого знепилення стрічкового транспортера окремі ділянки стрічки, де виділяється велика кількість пилу, розміщують в герметизовані кожухи, до яких підключають індивідуальні вентилятори, що відсмоктують надлишкове повітря, а разом з ним і найбільш дрібні фракції пилу. Пил поступає до циклона і там осідає. Осілий в циклоні пил може знову повернутися на стрічку, але вже в тому місці, де немає виділення пилу.

На рис.3.14 показана схема знепилення вертикальних транспортерів, тобто норій. Відсмоктування пилу здійснюється від башмака норії через розширену коробку з відбивачем.

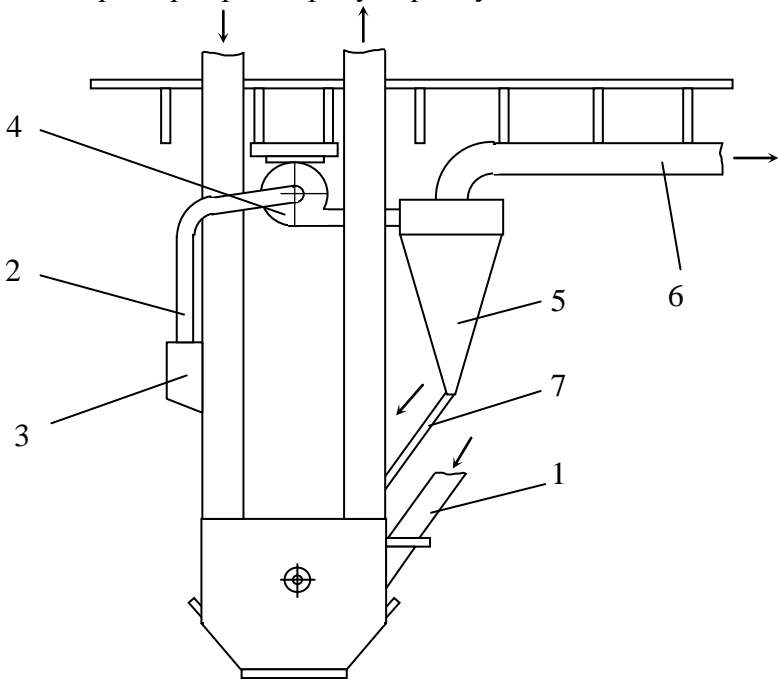


Рисунок 3.14 - Принципова схема індивідуального знепилення норії

1- живильник; 2- відсмоктування пилу; 3 – розширена коробка; 4 – вентилятор; 5- циклон; 6- вихлопна труба циклона; 7- повертання пилу в трубу норії

Для зменшення запилення виробничих приміщень при транспортуванні порошкоподібних матеріалів використовують частіше закриті транспортери та елеватори з відсмоктуванням запиленого повітря з-під укриття.

Значно пізніше циклонів були розроблені **вихрові пилоуловлювачі**, що відрізняються від останніх наявністю в апараті двох закручених потоків – нижнього (первинного) та верхнього (вторинного), що рухаються назустріч один одному. Варіанти конструкцій вихрових пилоуловлювачів показані на рис.3.15, 3.16.

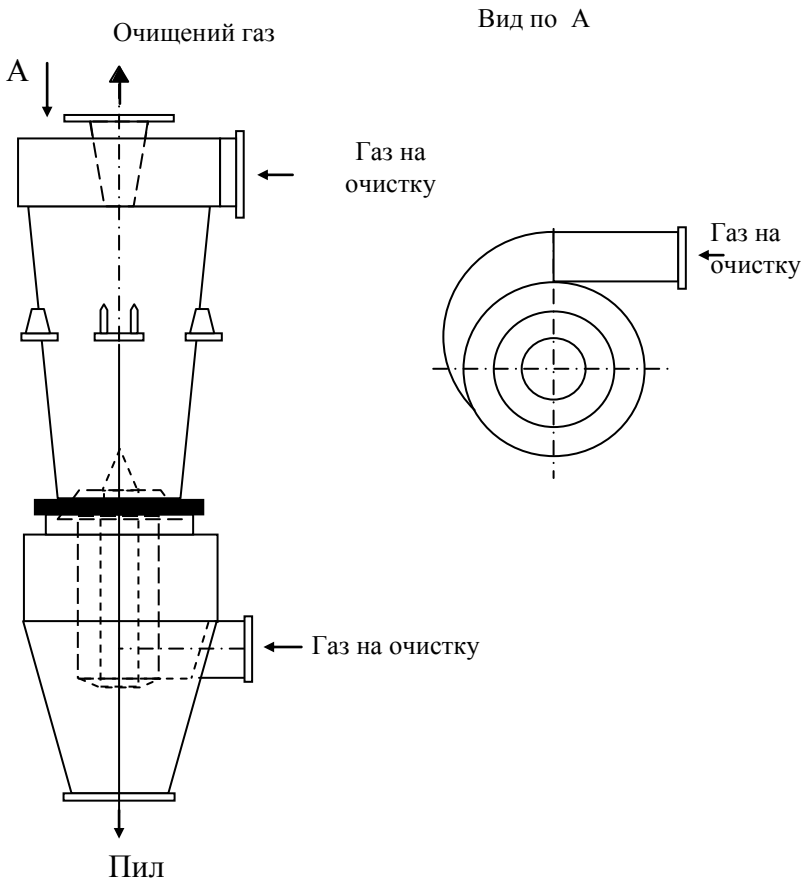


Рисунок 3.15 – Конічний вихровий пилоуловлювач

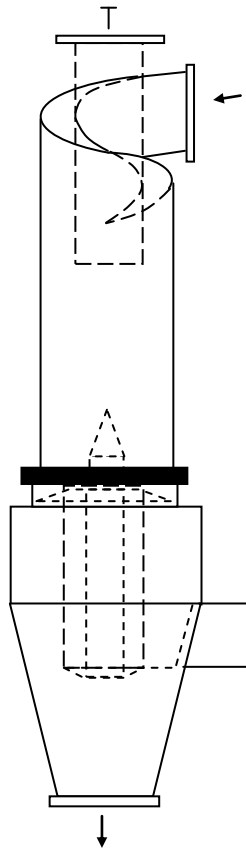


Рисунок 3.16 - Циліндричний вихровий пилоуловлювач

При подачі запиленого повітря одночасно по обох каналах частинки пилу, що поступають до верхнього пилоуловлювача по верхньому каналу, відкидаються відцентровими силами до стінки апарату, рухаються вздовж неї вниз по спіралі і попадають в бункер пилу; частинки пилу, що поступають в апарат по нижньому каналу, спочатку з потоками повітря піднімаються по спіралі наверх, а потім під дією відцентрових сил відкидаються до стінки і з вторинним, верхнім потоком повітря рухаються вниз і також попадають до бункера пилу.

До основних переваг вихрових пилоуловлювачів відносяться: більш інтенсивна, ніж у циклонів, сепарація частинок по всій висоті; більш ефективно пилоуловлювання дрібнодисперсного пилу (менше 5 мкм); широкий діапазон навантаження по газу (повітря) та дисперсній фазі.

Таким чином, для запобігання пилоутворенню у виробничому приміщенні умовно можна прийняти наступну технологічну схему: вихідна сировина транспортом направляється на склад і вивантажується на відкриту технологічну площадку або в бункери складу механізованим способом; з бункерів живниками подається до млинів; з млинів продукти пневмотранспортом через сепаратори направляються до топок казанів, сушильних агрегатів, бункерів та циклонів; з сушильних агрегатів висушені продукти пневмотранспортом через систему сепарації направляються на подальшу переробку; з сушильних агрегатів, осаджувальних камер, бункерів, проміжних ємностей, механізмів завантаження та вивантаження сировини та продуктів пилоповітряна суміш відсмоктується вентиляторами і направляється в систему пилоочищення (циклони, фільтри, пилоуловлювачі тощо), а потім викидається у навколишнє середовище.

Але, як правило, обладнання, що уловлює та накопичує в собі велику кількість горючого пилу, має високу пожежовибухонебезпеку. Тому доцільно розміщати його назовні виробничих приміщень, наприклад, на даху будівель. У всіх випадках пилоуловлювачі повинні мати запобіжні мембрани для скидання тиску при вибуху усередині них або установки активного вибухоподавлення. Інколи для забезпечення вибухобезпеки необхідно ізолювати систему пневмотранспорту від інших технологічних операцій, що пов'язані з виділенням пилу.

Фільтри, що призначені для уловлення пилу, повинні мати пристрої для безперервного його видалення.

Для запобігання можливості завихрення горючого пилу під впливом збуджуючих імпульсів використовують його зволоження. З метою покращення зволожуючих властивостей води, до неї додають поверхнево-активні речовини. Такі заходи часто використовують (якщо це можливо за технологічними міркуваннями) для зниження вибухонебезпеки пилоутворюючих стадій виробництва.

Таким чином, в даній главі ми розглянули технологічне обладнання, що завдяки своїм конструктивним особливостям, представляє небезпеку навіть за нормальних умов його експлуатації, яка пов'язана з виходом горючих речовин назовні, що здатні з киснем повітря утворювати пожежовибухонебезпечні суміші.

### **Контрольні питання:**

1. Умови утворення ВНК над поверхнею відкритих апаратів з ЛЗР та ГР.
2. Від яких факторів залежить кількість рідини, що випаровується з вільної поверхні?
3. Як визначити кількість горючої рідини, що випаровується з відкритої поверхні випаровування в нерухоме середовище?
4. Як визначити висоту небезпечної зони парів над поверхнею випаровування горючих рідин?
5. Особливості визначення кількості горючої рідини, що випаровується з відкритої поверхні в рухоме середовище.
6. Інженерно-технічні рішення по запобіганню пожежовибухонебезпеки виробництва за наявності апаратів з відкритою поверхнею випаровування.
7. Дати визначення поняття „велике” та „мале” дихання апаратів. Яке дихання апаратів є найбільш пожежонебезпечним?

8. Як визначити кількість горючої рідини, що викидається назовні за один цикл „великого” дихання?

9. Як визначити кількість горючої рідини, що викидається назовні за один цикл „малого” дихання?

10. Назвати основні типи, влаштування та принцип дії дихальних клапанів.

11. Основні напрямки забезпечення пожежної безпеки апаратів з дихальними пристроями.

12. Визначення кількості парів рідини, що виходять з апарата періодичної дії в залежності від характеру операції, що виконується (завантаження, відкривання, розвантаження).

13. Інженерно-технічні рішення щодо забезпечення пожежної безпеки апаратів періодичної дії.

14. Пожежна небезпека апаратів, що працюють під тиском.

15. Технічні рішення щодо забезпечення герметичності технологічного обладнання.

16. Методика оцінки рівня запилення виробничих приміщень.

17. Пожежно-профілактичні заходи, що направлені на зменшення пожежовибухонебезпеки запилених приміщень.

18. Фільтри, циклони, пилоуловлювачі. Класифікація, призначення, принцип дії.

## ГЛАВА 4. ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРИ ВИХОДІ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН З ПОШКОДЖЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Найбільшу небезпеку 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.

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.

**Приклад аварії.** 19 лютого 1990 року на Ровенському виробничому об'єднанні „Азот” виникла аварія з вибухом водню. Вибух стався в приміщенні насосного відділення подачі знесоленої води в абсорбер очистки від аміаку газової суміші, що мала склад: водень-58,6%; метан- 5,3%; аміак – 9,6%; азот – 22,2%; аргон – 4,3%.

Виток газу в приміщення із абсорбційної системи виник через отвір діаметром 4,8 мм, що утворився на нагнітальному трубопроводі плунжерного насоса внаслідок відриву відводу дренчерного трубопроводу, який був приварений до нагнітального трубопроводу. Вважають, що відрив відводу виник внаслідок концентрації напружень, що були викликані вібрацією насоса та коливаннями дренчерного трубопроводу, бо останній не мав жорсткого кріплення.

До аварії тиск в абсорбері складав 18,5 МПа, через 10-15 хвилин з моменту відриву відводу тиск знизився до 12,5 МПа. Загальна кількість газу, що надійшла до приміщення внаслідок

розгерметизації, склала приблизно 350 м<sup>3</sup>, у вибуху приймало участь приблизно 70 м<sup>3</sup> водню. Сила вибуху еквівалентна 100 кг тринітротолуола.

В даній главі розглядаються такі аварії та аварійні ситуації (з пошкодженням технологічного обладнання), при яких горючі речовини (рідини та гази) виходять у виробниче приміщення або на відкритий технологічний майданчик, розтікаються та розсіюються навкруги, утворюючи при цьому пожежовибухонебезпечні зони за межами технологічного обладнання.

#### **4.1 Загальна характеристика аварійних ситуацій**

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

**Аварією** вважається вихід із ладу, ушкодження якогось апарата, машини, установки під час роботи, руху. У більшості випадків аварії, незалежно від їхнього характеру, є наслідком помилок, допущених на стадіях розробки, проектування, виготовлення, монтажу, експлуатації, обслуговування та ремонту виробничого обладнання.

Дослідження пожежної небезпеки, що виникає при пошкодженні технологічного обладнання, - одне із самих складних питань пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. 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.

Аварії та пошкодження технологічного обладнання з горючими речовинами звичайно 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. І пожежна 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.

## **4.2 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 прокладочного 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 інших 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:

$$m_{\text{л}} = \alpha \cdot f \cdot \omega \cdot \rho_t \cdot \tau, \quad (4.1)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт витрати, що змінюється в межах 0,45-0,85. Залежить 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 апарату  $\tau$  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

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3. \quad (4.2)$$

Слід зазначити, що величина кожного відрізка часу залежить від багатьох факторів. Так, час виявлення пошкодження та початку витоку  $\tau_1$  залежить від характеру та ступеня пошкодження, числа та розміщення робочих місць обслуговуючого персоналу на виробничій ділянці та в пункті управління вироб-

ництвом, 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 пожежно-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 витоку  $\tau_2$  залежить від кількості живильних трубопроводів, від кількості, розміщення, виду приведення в дію та тривалості спрацьовування засувок, 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.

**Витікання рідини.** Для апаратів з рідинами швидкість витікання рідини  $\omega$  через отвір у трубопроводі або корпусі апарата при постійному тиску визначають за формулою:

$$\omega = \sqrt{2g \cdot H_{\text{пр}}} , \quad (4.3)$$

де  $g$  - прискорення сили ваги,  $\text{м/с}^2$ ;

$H_{\text{пр}}$  - приведений напір, під дією якого відбувається витікання рідини через отвір,  $\text{м}$ .

Якщо витікання відбувається з ємності тільки під тиском стовпа рідини (самопливом) (рис.4.1, а), тоді:

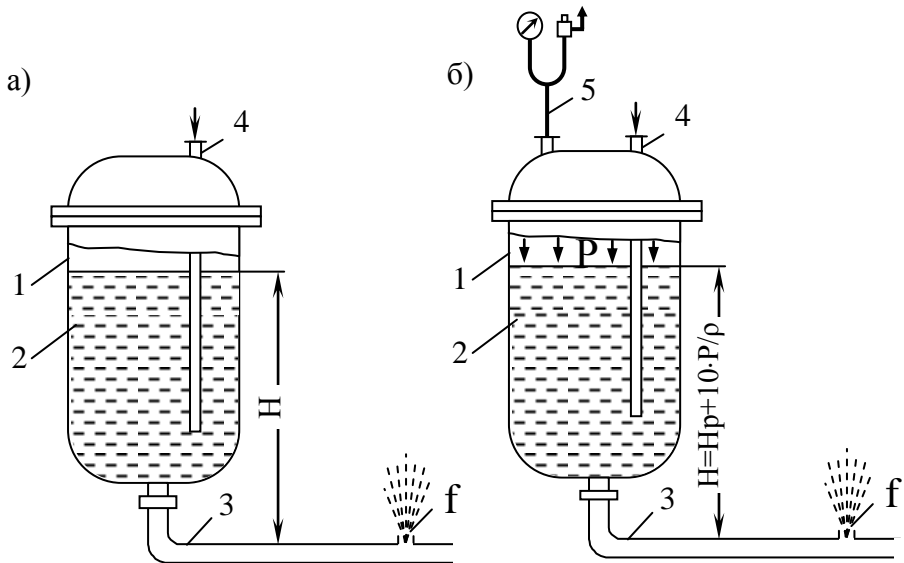
$$H_{\text{пр}} = H, \quad (4.4)$$

де  $H$  - висота стовпа рідини, м.

Якщо апарат працює під надлишковим тиском (рис.4.1,б) тоді:

$$H_{\text{пр}} = H + \frac{P_{\text{р.н.}}}{\rho_t \cdot g}, \quad (4.5)$$

де  $P_{\text{р.н.}}$  - надлишковий тиск середовища в апараті над поверхнею рідини, Па ( $P_{\text{р.н.}} = P_p - P_0$ , де  $P_p$  - абсолютний робочий тиск середовища в апараті, Па);



$\rho_t$  - густина рідини за робочої температури, кг/м<sup>3</sup>.

Рисунок 4.1 - Витікання рідини при локальному пошкодженні апарата

а - при атмосферному тиску в апараті; б- при надлишковому тиску в апараті

- 1 – корпус апарата; 2 – горюча рідина; 3 – трубопровід;
- 4 – живильна лінія; 5 – контрольно-вимірювальний пристрій

Рідина, що виходить назовні, розтікається і, якщо вона нагріта вище температури спалаху, утворюються місцеві вибухонебезпечні суміші парів з повітрям. Знаючи площу розливу рідини, час, протягом якого рідина не прибиралася, можна знайти кількість горючої рідини, що випаровується у виробниче приміщення, використовуючи при цьому метод, викладений у главі 3.1.

**Витікання газу.** Витікання газу або пари під тиском через отвір супроводжується їхнім політропічним розширенням і відбувається з дозвуковою або звуковою швидкістю, в залежності від співвідношення тиску навколишнього середовища  $P_c$ , куди відбувається витікання, і робочого тиску  $P_p$  в апараті.

Межа між двома режимами витікання (докритичним та критичним) визначається критичним тиском  $P_{кр}$ , що розраховується за наступною формулою:

$$P_{кр} = P_p \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (4.6)$$

де  $P_{кр}$  - критичний тиск, Па;

$P_p$  – робочий тиск в апараті, Па;

$k$  - показник адіабати, довідкові дані.

Якщо  $P_c \leq P_{кр}$ , витікання газу або пари буде проходити з дозвуковою (докритичною) швидкістю, що визначається за формулою:

$$\omega_{док} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_p \cdot \left[ 1 - \left( \frac{P_c}{P_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}. \quad (4.7)$$

При  $P_c \geq P_{кр}$  витікання буде проходити із звуковою (критичною) швидкістю, яку можна визначити за формулою:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot RT_p}, \quad (4.8)$$

де  $P_c$  - тиск навколишнього середовища, у яке відбувається витікання парів і газів, Па (звичайно  $P_c = P_{бар}$ );

$T_p$  - робоча температура, К;

$R$  - газова стала, Дж/кг К.

Пошкодження технологічного обладнання, що працює під вакуумом, може викликати підсмоктування повітря всередину апаратів. В залежності від початкової температури, в об'ємі апарата можуть виникати такі ж характерні ситуації, що і при виході горючих речовин назовні. Небезпека вибуху всередині апарата при цьому зростає. Тому дуже часто локальні пошкодження апаратів, що працюють під вакуумом, закінчуються повним зруйнуванням в результаті вибуху горючої суміші, що утворюється в їхньому об'ємі.

### **4.3 Повне зруйнування апаратів та трубопроводів**

Для оцінки пожежної небезпеки технологічних процесів та апаратів важливо знати основні параметри, що характеризують пожежну 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 апарата, що 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:

$$m = m_{\text{ап}} + m_{\text{тр1}} + m_{\text{тр2}} + m_{\text{н,к}}, \quad (4.9)$$

де  $m_{\text{ап}}$  - кількість горючої речовини, що знаходяться в апараті до його пошкодження, кг;

$m_{\text{тр1}}$ ,  $m_{\text{тр2}}$  - кількість горючих речовин, що виходять із трубопроводів відповідно до моменту їх відключення та після перекриття засувок або інших запірних пристроїв, кг;

$m_{\text{н,к}}$  - кількість горючих речовин, що додатково може надійти до приміщення при аварії за рахунок подачі насоса або компресора до повного їх відключення, кг.

Для апаратів з рідинами або скрапленими горючими газами кількість горючої рідини  $m_p$ , що виходить назовні при розгерметизації технологічного блоку, визначається за формулою:

$$m_p = \left( V_{\text{ап}} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{i\text{н}} \cdot \tau + \sum_{j=1}^k l_{j\text{тр}} \cdot f_{j\text{тр}} \right) \cdot \rho_p, \quad (4.10)$$

а для апаратів із стисненими горючими газами кількість горючого газу  $m_{\Gamma}$  можна розрахувати за формулою:

$$m_{\Gamma} = \left( V_{\text{ап}} \cdot \frac{P_p}{P_0} \cdot \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{i\text{к}} \cdot \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{j\text{тр}} \cdot f_{j\text{тр}} \cdot \frac{P_p}{P_0} \right) \cdot \rho_{\Gamma}, \quad (4.11)$$

де  $V_{\text{ап}}$  - геометричний внутрішній об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$\varepsilon$  - ступінь заповнення апарата (для апаратів з горючими газами  $\varepsilon=1$ );

$P_p$  - робочий тиск середовища в апараті, Па;



$Q_{i_n}$ ,  $Q_{i_k}$  - відповідно продуктивність насоса або компресора (або пропускна спроможність трубопроводу),  $m^3/c$ ;

$\tau_i$  - тривалість відключення спонукача витрати або запірною пристрою на трубопроводах, с. Тривалість відключення насоса або компресора дорівнює 120 с (при автоматичному відключенні спонукача витрат або перекриття запірною пристрою на трубопроводах) та 300 с (при ручному відключенні);

$l_{j_{тр}}$ ,  $f_{j_{тр}}$  - відповідно довжина (м) та площа перерізу ( $m^2$ ) ділянки трубопроводу (від аварійного апарата до запірною пристрою), з якого відбувається витікання рідини або газу;

$\rho_p$ ,  $\rho_g$  - відповідно густина рідини або газу за робочою температурою середовища в апараті,  $kg/m^3$ ;

$k$  - число ділянок трубопроводів, що примикають до аварійного апарата.

Таким чином, пожежна небезпека технологічного обладнання при його пошкодженнях та аваріях залежить не тільки від пожежовибухонебезпечних 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.

#### **4.4 Утворення вибухонебезпечних сумішей у приміщеннях і на відкритих майданчиках**

Якщо відома швидкість надходження горючих парів або газів у виробниче приміщення при пошкодженні або аварії апарата, можна визначити проміжок часу, протягом якого концентрація горючої речовини в приміщеннях досягне вибухонебезпечних меж. При цьому необхідно розрізняти два випадки: за наявності та за відсутності повітрообміну у виробничому приміщенні.

Розглянемо загальний випадок, коли у приміщенні об'ємом  $V$  гарантований повітрообмін кратністю  $n$  в 1/год. При цьому частка парів або газів, що будуть виходити під час аварії, буде рівномірно розподілятися у всьому об'ємі приміщення і частково безперервно буде відводитися із виробничого приміщення назовні, в результаті чого зростання концентрації горючих речовин до небезпечних меж дещо сповільниться.

Кількість повітря, що поступає до приміщення, можна розрахувати за формулою:

$$\alpha = \frac{nV}{3600} \cdot \quad (4.12)$$

Складемо рівняння матеріального балансу для даного випадку відносно горючих речовин у повітрі виробничого приміщення. Воно буде мати наступний вид: приріст кількості горючої речовини у повітрі виробничого приміщення буде дорівнювати кількості горючих речовин, що поступають із пошкодженого апарата до приміщення, за винятком кількості горючих речовин, що викидаються із приміщення, або:

$$V d\varphi = q dt - \alpha \varphi dt, \quad (4.13)$$

$$V d\varphi = (q - \alpha \varphi) dt, \quad (4.14)$$

$$\frac{d\varphi}{q - \alpha \varphi} = \frac{dt}{V}, \quad (4.15)$$

де  $V$  – об'єм приміщення,  $m^3$ ;

$d\varphi$  – приріст концентрації горючої речовини за час  $dt$ ;

$q$  – інтенсивність надходження горючої речовини до виробничого приміщення з пошкодженого апарата,  $m^3/c$ .

Інтегруючи диференціальне рівняння 4.15, одержимо:

$$-\frac{1}{\alpha} \ln(q - \alpha \varphi) = \frac{\tau}{V} + A, \quad (4.16)$$

де  $A$  - постійна величина, що визначається за початковими умовами.

Якщо в момент початку аварії ( $\tau=0$ ) концентрація горючої речовини  $\varphi$  в повітрі виробничого приміщення дорівнює нулю, тоді інтегрування рівняння 4.15 в межах від  $\varphi_{\text{поч}} = 0$  до  $\varphi_{\text{кін}} = \varphi_{\text{н}}$  дає:

$$\tau = \frac{V}{\alpha + q} \ln \frac{q}{q - (\alpha + q) \cdot \varphi_{\text{н}}}, \quad (4.17)$$

де  $\tau$  – тривалість наростання вибухонебезпечних концентрацій в приміщенні, с;

$\alpha$  – кількість повітря, що поступає до приміщення, або продуктивність вентиляційної системи,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$q$  – інтенсивність надходження парів або газів до приміщення з пошкодженого апарата,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

Якщо ж виробниче приміщення не має примусової вентиляції або вентиляція не надійна (відсутній резервний вентилятор, не здійснюється живлення електродвигунів від двох незалежних джерел), створюються найбільш сприятливі умови для утворення вибухонебезпечних концентрацій при пошкодженнях та аваріях технологічних апаратів і трубопроводів. В цьому випадку кількість горючої речовини, що виходить назовні з обладнання за проміжок часу  $d\tau$ , дорівнює приросту кількості горючої речовини в повітрі приміщення за той же проміжок часу  $d\tau$ :

$$q d\tau = V d\varphi. \quad (4.18)$$

Після інтегрування цього рівняння одержимо:

$$\tau = \frac{V}{q} \ln \frac{1}{1 - \varphi_{\text{н}}}. \quad (4.19)$$

Тривалість утворення вибухонебезпечних концентрацій може бути визначена відносно повного об'єму виробничого приміщення. Але, враховуючи те, що для створення небезпечного (для виробничої будівлі) надлишкового тиску достатньо

утворення вибухонебезпечної суміші лише в незначній частці об'єму приміщення (наприклад, в 5%), за розрахунковий об'єм необхідно приймати саме цю частку об'єму.

Аналіз аварій, що мали місце, та розрахунків свідчить про те, що при пошкодженні технологічного обладнання з горючими газами тривалість зростання концентрації горючої речовини у повітрі (до небезпечних меж) виробничого приміщення може рахуватися секундами. При значних аварійних витоках парів та газів наявність навіть самої потужної вентиляції не може запобігти утворенню вибухонебезпечної суміші в приміщенні.

Слід відзначити, що підвищення концентрацій у виробничих приміщеннях в результаті розливу та наступного випаровування легкозаймистих рідин, проходить значно повільніше (в залежності від швидкості випаровування рідини), ніж при витоку газів.

#### **4.5 Пожежна безпека при пошкодженні апаратів з горючим пилом та волокнами**

Основними причинами пилових вибухів на виробництві є запилення повітря виробничого приміщення вибухонебезпечним пилом. Викиди горючого пилу із технологічного обладнання відбуваються не тільки при його розгерметизації або повній руйнації, але і при нормальному режимі його експлуатації внаслідок пиловиділення через нещільності, щілини та отвори в обладнанні. Поступово осідаючи, пил накопичується на доступних та важкодоступних поверхнях конструкцій і обладнання. Тому, аналізуючи пожежну безпеку повного пошкодження обладнання з горючим пилом та волокнами, необхідно враховувати не тільки горючий пил, що виходить у приміщення при розгерметизації апаратів, але і пил, що відклався в приміщенні до аварії. При цьому також враховують пил, що знаходиться в приміщенні як в осілому, так і в завислому стані.

Масу завислого в об'ємі приміщення пилу  $m$ , що утворюється в результаті аварійної ситуації, визначають за формулою:

$$m = m_3 + m_{ав}, \quad (4.20)$$

де  $m_3$  - розрахункова маса пилу, що перейшов у завислий стан, кг;

$m_{ав}$  - розрахункова маса пилу, що надійшов у приміщення в результаті аварійної ситуації, кг.

Розрахункову масу завислого пилу  $m_3$  можна визначити за формулою:

$$m_3 = K_3 \cdot m_{п}, \quad (4.21)$$

де  $K_3$  - частка відкладеного в приміщенні пилу, що може перейти у завислий стан в результаті аварійної ситуації. Якщо відсутні експериментальні дані величини  $K_3$ , тоді допускається приймати  $K_3 = 0,9$  [5];

$m_{п}$  - маса пилу, що відклався у приміщенні до початку аварії, кг.

Необхідно відзначити, що на накопичення пилу у виробничому приміщенні впливає вид прибирання пилу. Кожний вид прибирання пилу характеризується коефіцієнтом ефективності ( $K_y$ ). Приймається: при ручному сухому прибиранні  $K_y=0,6$ ; при ручному вологому -  $K_y=0,7$ ; при механізованому вакуумному -  $K_y=0,9$  (якщо підлога рівна) і  $K_y=0,7$  (якщо підлога з вибоїнами до 5% загальної площі) [5].

Кількість пилу, що відкладається у приміщенні  $m_{п}$  до початку аварії, визначають за формулою:

$$m_{п} = \frac{K_{г}}{K_{y}} \cdot (m_1 + m_2), \quad (4.22)$$

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

$K_{\gamma}$  - коефіцієнт ефективності прибирання пилу;

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

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

Таким чином, кількість пилу, що надходить до приміщення в результаті аварійної ситуації  $m_{ав}$ , можна визначити за формулою:

$$m_{ав} = (m_{ап} + q \cdot \tau) \cdot K_{\Pi}, \quad (4.23)$$

де  $m_{ав}$  - маса горючого пилу, що виходить із зруйнованого апарата, кг;

$q$  - продуктивність, з якою продовжується надходження пилоподібних речовин в аварійний апарат по трубопроводах до моменту їхнього відключення, кг/с;

$\tau$  - тривалість відключення, с;

$K_{\Pi}$  - коефіцієнт пиління, що дорівнює відношенню маси завислого в повітрі пилу до всієї маси пилу, що надійшов з апарата до приміщення. Якщо відсутні експериментальні дані про величину  $K_{\Pi}$ , припускається приймати: для пилу з дисперсністю не менше 350 мкм -  $K_{\Pi}=0,5$ ; для пилу з дисперсністю менше 350 мкм -  $K_{\Pi}=1$  [5].

#### **4.6 Запобігання виникнення пожежі та вибуху при пошкодженнях технологічного обладнання**

Запобігти виникненню пожежі або вибуху у виробничому приміщенні внаслідок пошкодження технологічного обладнання з горючими речовинами та матеріалами, можна шляхом недопущення утворення вибухонебезпечних сумішей, що полягає в обмеженні виходу горючих речовин. Небезпеку аварійних

витоків можна зменшити за рахунок використання технічних засобів, що дозволяють швидко відключати пошкоджені ділянки і тим самим знижувати кількість горючих речовин, що виходять назовні, а також завдяки пристроям різного роду перешкод, що обмежують вільне розтікання рідин.

Своєчасність та ефективність заходів, що вживаються з локалізації пошкодження, залежать від можливостей швидкого виявлення факту та місця пошкодження, а також від наявності пристроїв та засобів, що дозволяють швидко зупинити надходження горючої речовини до місця аварії.

Пошкодження технологічного процесу чи апарата виявляється обслуговуючим персоналом або оператором контрольно-вимірювальних приладів з різких відхилень процесу від заданих параметрів. Так, наприклад, пошкодження апаратів або трубопроводів можна визначити з різкого зниження тиску, підвищення швидкості руху або витрати продукту в технологічній лінії, а також із зростання концентрації парів або газів у повітрі виробничих приміщень та відкритих майданчиків.

Виявлені місця пошкоджень швидко ізолюються за допомогою засувок ручної та дистанційної дії, а також автоматичними засувками, зворотніми клапанами тощо.

При розробці планів ліквідації аварій на підприємствах для кожного виробничого приміщення, цеху складається схема основних комунікацій з вказівкою місць розміщення засувок, вимикачів та інших пристроїв, що призначені для ліквідації аварії, з нумерацією послідовності їх використання. Запірні пристрої влаштовують на вході трубопроводів в приміщення, а також на обв'язочних трубопроводах, що розміщені усередині приміщень.

Таким чином, для забезпечення реальної можливості запобігання пожежі або вибуху необхідно зменшити кількість горючих речовин, що виходять назовні при аварії апаратів та трубопроводів. Але найбільш ефективним і основним засобом захисту є виявлення та запобігання можливих причин пошкоджень і аварій технологічного обладнання.

### Контрольні питання:

1. Дайте оцінку небезпеки аварійних ситуацій, назвіть характерні причини появи аварійних ситуацій.
2. Назвати характерні ознаки аварійних ситуацій.
3. Назвати види пошкоджень технологічного обладнання. Привести приклади цих пошкоджень.
4. Написати та пояснити розрахункові формули для визначення кількості ЛЗР і ГР або скраплених газів, що виходять назовні при локальному та повному пошкодженні апарата.
5. Як визначається кількість рідини, що виходить з апарата за умов його повної руйнації?
6. Яким чином визначається тривалість утворення ВНК у виробничих приміщеннях за умов відсутності або наявності повітрообміну?
7. Розрахункове визначення кількості горючого пилу, що надходить у виробниче приміщення при аваріях апаратів та трубопроводів?
8. Основні напрямки запобіганню аварійних ситуацій на виробництві.



## ГЛАВА 5. ПРИЧИНИ ПОШКОДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ЇХ

### ПОПЕРЕДЖЕННЯ

Умови експлуатації технологічного обладнання різноманітні. Матеріал апаратів, трубопроводів, їх арматура знаходяться під постійним впливом речовин, що обробляються або переробляються дуже часто під підвищеним тиском і можуть бути нагріті до високої температури. На апарати впливає також навколишнє середовище, що також дуже часто, особливо в хімічних виробництвах, має агресивні властивості. Експлуатація технологічного обладнання в таких умовах дуже часто приводить до аварійних ситуацій.

**Приклад аварії.** На установці компримірування азото-водневої суміші 75% водню та 25% азоту у виробництві синтезу аміаку виникла аварія – вибух газоповітряної суміші в приміщенні компресії, до якого призвів розрив штуцера трійника діаметром 70 мм на колекторі азото-водневої суміші, який працював за регламентним тиском 27 МПа та температурою 50<sup>0</sup>С. Руйнування виникло на ділянці найбільшого зменшення сітки трійника з 16 до 1,5 мм, внаслідок тривалого корозійного та механічного зносу внутрішньої поверхні стінок. Знос мав локальний характер: найбільшою мірою зношувались стінки поблизу застійних зон та накопичення конденсату. Огляд горизонтальної ділянки труби після трійника також показав нерівномірність зносу її стінки (товщина стінок у верхній частині 11 мм, а в нижній - 6 мм), що пояснюється додатковим механічним тертям продуктів корозії об стінку при пульсуючому руху газів по трубах.

Необхідною умовою забезпечення ефективної та безпечної експлуатації технологічного обладнання є його міцність, під якою розуміють спроможність конструкції сприймати зусилля робочих навантажень, не руйнуючись і не створюючи пластичних деформацій понад установлені величини. Вид і то-

вщину матеріалу підбирають так, щоб вони могли протистояти впливу внутрішнього та зовнішнього середовища.

Міцність 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.

Це виникає з багатьох причин і в першу чергу в результаті недоліків конструктивного характеру (невірний розрахунок або вибір матеріалу), дефектів виготовлення (приховані внутрішні дефекти матеріалів, неякісна підгонка та зварювання), порушення прийнятих режимів роботи, відсутність або несправність засобів захисту від перевантажень, неякісне технічне обслуговування та ремонт.

Вияснити дійсну причину пошкодження технологічного обладнання не завжди просто, оскільки дуже часто причина, що є на перший погляд очевидною, в дійсності ж може бути наслідком декількох інших взаємопов'язаних між собою явищ.

Розглянемо можливі основні комбінації порушень, в результаті яких виникають пошкодження технологічного обладнання:

- перевищення розрахункових навантажень при збереженні розрахункової міцності обладнання;
- зниження розрахункової міцності обладнання при збереженні розрахункових навантажень;
- одночасне порушення розрахункових навантажень та розрахункової міцності обладнання.

**Прикладом руйнування** технологічного обладнання в результаті комбінації порушень може бути аварія (з наступною великою пожежею) на складі скраплених газів газопереробного заводу. При заповненні горизонтального резервуара пропаном засувку на колекторі ємності, що заповнювалася, закрили без попередньої зупинки насоса. При проектному максимальному тиску 2 МПа тиск в колекторі підвищився до 3 МПа. Заглушка

колектора за проектною товщиною 40 мм мала фактичну товщину 12 мм, причому її шов по колу не був приварений на 70%. За проектом на приймальних та випускних колекторах повинні бути встановлені запобіжні клапани, але їх з невідомої причини на заводі зняли. В результаті зниження проектної міцності обладнання та значного підвищення робочого тиску в трубопроводі заглушку вирвало із фланця. Виникла пожежа, яка поширилася на інші резервуари.

Для того, щоб полегшити процес дослідження причин пошкоджень апаратів, необхідно вивчити найбільш характерні з них. З цією метою розглянемо причини пошкодження технологічного обладнання за такою класифікацією:

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

Визначення причин пошкодження технологічного обладнання дозволить передбачити аварійні ситуації, що є важливим в системі забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів виробництва.

## **5.1 Пошкодження технологічного обладнання в результаті механічних впливів та їх попередження**

Механічна міцність технологічного обладнання є необхідною умовою для забезпечення його безпечної експлуатації. Під механічними впливами розуміють впливи, що виникають у результаті перевищення розрахункових навантажень на обладнання при збереженні його розрахункової міцності.

Це відбувається з багатьох причин, у тому числі і в результаті впливу не передбачених розрахунком навантажень, через наявність прихованих внутрішніх дефектів матеріалу, відсутність або несправність засобів захисту апаратів від перевантажень, а також через неякісний технічний нагляд 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, які спроможні викликати не тільки утворення нещільностей у швах і роз'ємних з'єднаннях, але й повну руйнацію апарата або трубопроводів у найбільш слабкому перетині.

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.

### **5.1.1 Профілактика пошкодження апаратів в результаті підвищення тиску**

Найбільш характерним механічним впливом є 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 у високонагріті апарати.

**Порушення матеріального балансу.** В основі роботи технологічного пристрою лежить матеріальний та енергетичний (тепловий) баланси.

Згідно матеріального балансу, маса вихідних речовин  $\sum G_{\text{пр}}$  процесу повинна дорівнювати масі основних кінцевих продуктів  $\sum G_{\text{кін.пр}}$ , незалежно від того, яких змін вони набули в даному апараті, тобто  $\sum G_{\text{пр}} = \sum G_{\text{кін.пр}}$ . В цьому випадку в апараті зберігається нормальний (робочий), встановлений для цього апарата тиск.

Якщо ж за деяких причин дана рівність порушується, тоді в апараті утворюється підвищений або знижений тиск. Тиск підвищується, якщо зростає надходження речовин до апарата за незмінної витрати або якщо витрата речовин зменшується при постійному надходженні, тобто коли:

$$\sum G_{пр} > \sum G_{кін.пр} . \quad (5.1)$$

Порушення матеріального балансу апаратів виникає при:

- невідповідності продуктивності насосів та компресорів прийнятій інтенсивності заповнення апаратів або дійсній витраті продуктів;
- неправильному з'єднанні апаратів, що працюють з різними тисками;
- збільшенні опорів у витратних, дихальних лініях тощо.

**Невідповідність між подачею речовин до апарата та їх витратою.** Рідини та газу подають до апаратів та ємностей частіше всього насосами та компресорами. Їх підбирають з таким розрахунком, щоб забезпечити подачу визначеного об'єму речовин. Будь-яка зміна у витраті речовин повинна супроводжуватися зміною продуктивності насоса (компресора). Якщо насос (компресор) буде працювати з тією ж продуктивністю за зниженої витрати або продуктивність насоса (компресора) підвищиться в результаті збільшення числа обертів вала або числа ходів поршня, тоді обов'язково виникне підвищений тиск в апараті.

Небезпека пошкодження апаратів періодичної дії може виникнути в періоди їх заповнення. Відсутність регулюючих пристроїв, а також вимірювачів рівня рідин або тиску газів, недостатній контроль за процесом переповнення можуть бути причиною переповнення апаратів, утворення в них підвищеного тиску та пошкодження корпусу.

Для запобігання переповнення технологічного обладнання рідинами і газами передбачаються наступні заходи:

- застосування лічильників-дозаторів для визначення кількості рідин і газів, що надходять до обладнання;
- застосування пожежонебезпечних рівнемірів та манометрів для контролю рівня або об'єму речовин в апараті (забороняється застосовувати скляні показчики 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 з рідинами та свічок скидання на апаратах з газами (рис.5.1).

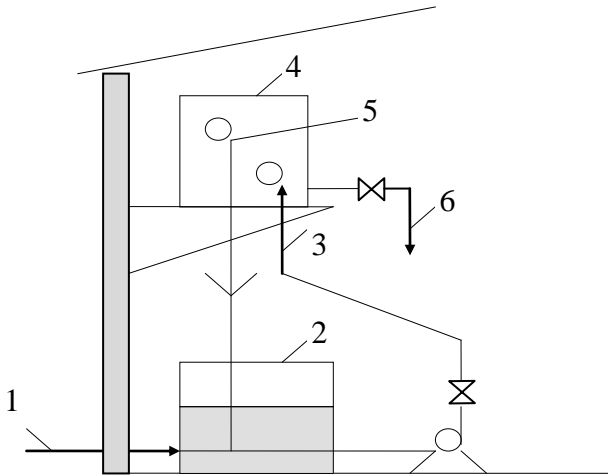


Рисунок 5.1- Захист апарата переливною лінією

- 1 - рідина із складу; 2 - витратний бак; 3 - наповнювальна лінія; 4 - напірний бак; 5 - переливна труба; 6 - витратна лінія

Переливні труби урізуються в стінки апаратів на висоті максимально припустимого рівня рідини. Вони повинні мати діаметр, більший за діаметр наповнювальної лінії і, з'єднати-

ся з ємністю, з якої закачується рідина, або з дренажною (аварійною) ємністю.

Найбільш ефективним засобом попередження пошкодження апаратів та ємностей від перепоповнення є автоматичні системи для зупинки роботи насосів і компресорів або для відключення живильних ліній взагалі при досягненні встановлених рівня рідини та тиску газу в апараті тощо (рис. 5.2).

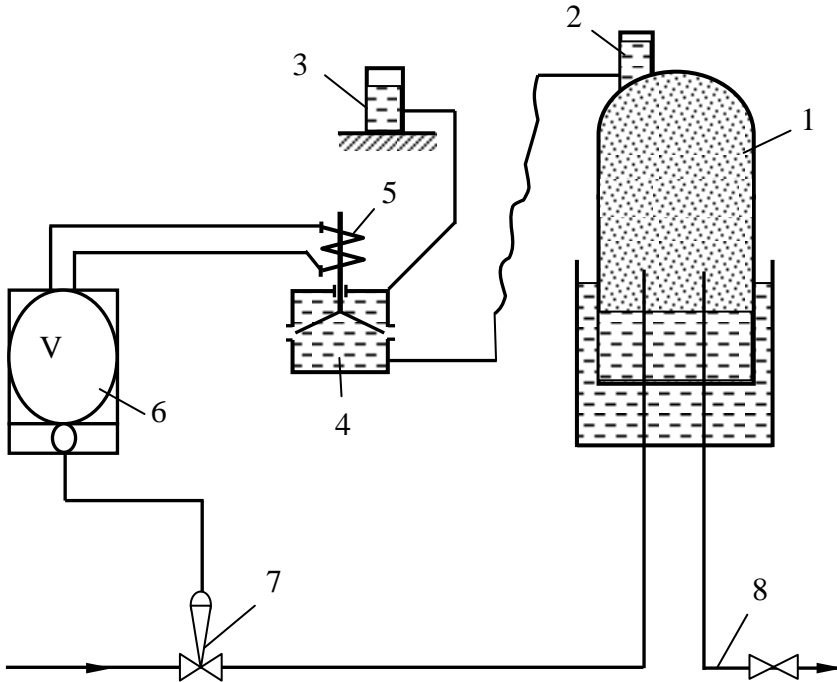


Рисунок 5.2 - Захист газгольдера від перепоповнення  
1-газгольдер; 2 – рухома судина; 3- нерухома судина;  
4- дифманометр; 5- індукційна катушка; 6- потенціометр;  
7- засувка на лінії наповнення; 8- витратна лінія

На рис. 5.3 показана принципова схема автоматичного відключення компресора, який подає газ до апарата при досягненні в ньому необхідного тиску. В апараті розміщується датчик тиску, який поєднується з первинним показовим приладом

та регулятором. При досягненні граничного тиску газу в апараті регулятор розмикає ланцюг магнітного пускача, завдяки чому зупиняється електродвигун компресора.

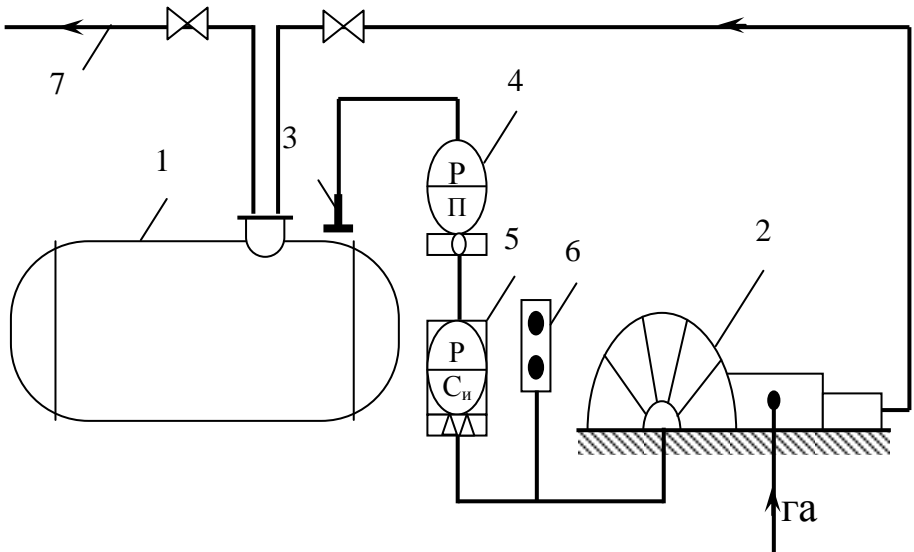


Рисунок 5.3 - Схема автоматичної зупинки та пуску компресора за зміни тиску газу в апараті

1- апарат; 2- компресор; 3 – датчик тиску; 4 – первинний показовий прилад з пневматичним виходом; 5- вторинний сигналізуючий прилад-регулятор з електричним виходом; 6 – кнопка дистанційного включення магнітного пускача; 7- витратна лінія газу

При відновленні витрати газу споживачем тиск в апараті буде зменшуватися, регулятор забезпечить замкнення пускового ланцюга магнітного пускача і компресор знову подасть газ до апарата.

**З'єднання апаратів з різними тисками.** Якщо апарат працює під тиском, меншим, ніж тиск у джерела, що його живить, тоді за відсутності на з'єднувальних лініях приладів ав-



томатичного регулювання тиску або їх несправності, а також при застосуванні для зниження тиску звичайної запірної арматури в них може виникнути небезпечний тиск. Інколи різниця між величинами тиску пов'язаних між собою апаратів буває дуже великою. Так, наприклад, трубчасті печі установок термічного крекінгу, які працюють при тиску 5-7 МПа, поєднані з випарниками, в яких тиск досягає 6-8 МПа, реактори для одержання поліетилену, що мають робочий тиск 150 МПа, сполучені з сепараторами з робочим тиском 30-40 МПа тощо.

Небезпечними є також підключення систем високого тиску до систем, що працюють при більш низькому тиску.

Так, наприклад, в одному з міст виникла необхідність поєднати два кільця підземних газових мереж низького тиску. Поблизу від газової лінії низького тиску проходила газова лінія середнього тиску. Помилково лінію середнього тиску підключили до газового кільця низького тиску. Надходження газу більш високого тиску до лінії та до приладів, не розрахованих на цей тиск, призвело до утворення масових витоків газу через нещільності у з'єднаннях та до пошкодження газових лічильників. Виникло „здування” полум'я газу, що горів, в газових приладах і в результаті - вибухи та пожежі у житлових будинках.

**Профілактика пошкодження з'єднаних апаратів з різним робочим тиском досягається** застосуванням (крім запірної засувки) автоматичного редуційного пристрою з манометром і захисним клапаном на стороні меншого тиску (рис.5.4). Запірна засувка повинна знаходитися між апаратом та редуційним пристроєм, поблизу апарата. За невеликих перепадів тиску обидва підключених один до одного апарати необхідно розраховувати на найбільший тиск. Для групи апаратів, які працюють при однаковому тиску та підключені до апарата з високим тиском, достатньо одного редуційного та одного запобіжного клапанів (з манометром), що встановлені на загальній магістралі до першого розгалуження.

**Збільшення опорів ліній за наявності в них відкладень та пробок.**

Підвищений тиск дуже часто утворюється при збільшенні опору в лініях за насосами, компресорами або апаратами. Це виникає при неповному відкриванні засувок, а також при зменшенні перерізу ліній в результаті відкладень на стінках солей, бруду, коксу, полімерів, кристалогідратів тощо.

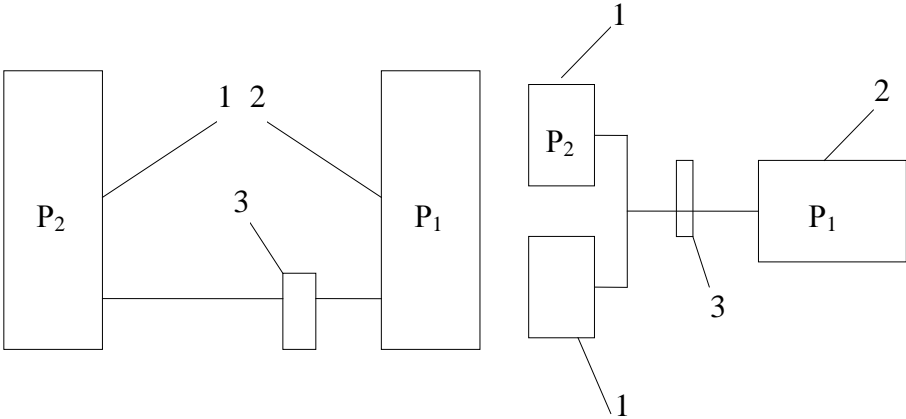


Рисунок 5.4- Редукційні пристрої на апаратах з надлишковим тиском:

1,2 - апарати відповідно з тиском  $P_1$  та  $P_2$ ; 3 - редукційний пристрій

З курсу “Технічної механіки рідин і газів” відомо, що втрати напору в системі  $H_v$  при транспортуванні речовин (рідин, газів) дорівнюють:

$$H_v = H_{л} + H_{м}, \quad (5.2)$$

де  $H_v$ - втрати напору в системі, мм.в.ст;

$H_{л}$  - втрати напору по довжині лінії, мм.в.ст.;

$H_{м}$  - місцеві втрати напору, мм.в.ст.

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

$$H_{\text{л}} = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (5.3)$$

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

$l$  - 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:

$$H_{\text{м}} = \xi \cdot \frac{\omega^2}{2 \cdot g}, \quad (5.4)$$

де  $\xi$  - коефіцієнт місцевого опору (довідкові дані). Тоді величину втрати тиску в системі можна визначити так:

$$\Delta P = \rho_t \cdot g \cdot H_{\text{в}}, \quad (5.5)$$

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

$\rho_t$  - густина продукту за робочої температури, кг/м<sup>3</sup>.

Підставляючи значення формул (5.3) і (5.4) у формулу (5.5), одержимо величину перепаду тиску для подолання опору в системі:

$$\Delta P = \left( \sum_{i=1}^n \xi_i + \lambda \cdot \frac{1}{d} \right) \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_t}{2}, \quad (5.6)$$

а кінцевий тиск  $P_{\text{к}}$  в апараті за наявності відкладень у відвідних трубопроводах можна визначити за формулою:

$$P_{\text{к}} = P_{\text{п}} + \Delta P, \quad (5.7)$$

де  $P_{\text{к}}$  - кінцевий тиск у системі при збільшенні опору ліній, Па;

Рп - початковий тиск у системі, Па.

Таким чином, із формули (5.6) видно, що при зменшенні площі перерізу трубопроводу (за умов утворення в ньому відкладень) тиск в системі зростає прямо пропорційно квадрату швидкості руху потоку або відношенню площ нормального та звуженого перерізу або буде відповідно зменшуватися продуктивність системи. Але, як відомо, не всі насоси та компресори мають здатність змінювати свою продуктивність у відповідності до зміни опору лінії. Такої здатності не мають насоси та компресори об'ємної дії – поршневі, шестерінчасті та ротаційні. Для них найбільш небезпечним є повне припинення витрати (закрита засувка, весь переріз труби забитий відкладеннями тощо) за безупинної роботи. В цьому випадку збільшення тиску в лінії безперечно призведе до аварії.

**Наприклад**, на крекінг-установці нафтопереробного підприємства тимчасово зупинилась робота поршневого „гарячого” насоса. В результаті виникло майже повне закоксування радіантних труб печі глибокого крекінгу. Відновлення роботи насоса призвело до значного підвищення тиску, розриву труб в печі та виникнення пожежі.

Зменшення внутрішнього перерізу трубопроводу може виникнути в результаті утворення різного роду відкладень. Так, наприклад, за низьких температур або за низької температури навколишнього середовища в газових та рідинних лініях (з наявністю вологих вуглеводнів) можливе утворення льодяних та кристалогідратних пробок. Інтенсивність утворення кристалогідратів залежить не тільки від температури та вмісту вологи в газі, але й від тиску газу. Як видно з графіка (рис.5.5), в умовах підвищеного тиску кристалогідрати можуть утворюватися навіть за температури, яка значно вище за 0<sup>0</sup>С. Інтенсивне утворення кристалогідратів може призвести до повного забивання перерізу труби. Відомі відкладення в трубах парафіну, нафталіну, кристалів сірки, капролактаму та інших речовин. Дуже часто виникає накопичення та замерзання води в дренажних лініях.

**Для запобігання утворенню відкладень** усередині технологічного обладнання і трубопроводів необхідно:

- проводити очистку речовин від твердих часток шляхом відстоювання і фільтрації, від солей - хімічними способами (лугами або кислотами), а також струмами високої напруги на електрознесолюючих установках;
- постійно контролювати і регулювати температурний режим при нагріванні органічних рідин;
- застосовувати спеціальні добавки (інгібітори), які попереджують утворення полімерних відкладень;
- застосовувати для виготовлення апаратів матеріали, які гальмують процес полімеризації;
- проводити попереднє осушення вихідних речовин від вологи (хлористим алюмінієм та кальцієм, силікагелем, виморожуванням тощо);
- застосовувати нагрів тих місць апаратів та трубопроводів, де можливе утворення кристалогідратів;
- застосовувати спеціальні добавки, що розчиняють кристалогідрати (метиловий та етиловий спирти);
- апарати і трубопроводи захищати теплоізоляцією.

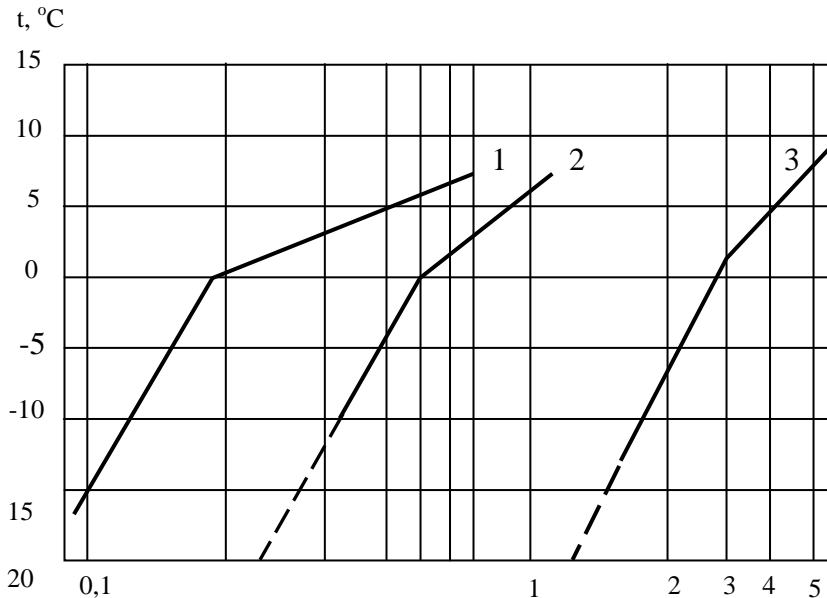


Рисунок. 5.5 - Умови утворення кристалогідратів  
вуглеводневих газів  
1 - пропан; 2- етан; 3 – метан

Підвищення тиску в газових лініях часто виникає через попадання в них рідини (газовий дистилат, водяний конденсат), яка утворює пробки в колінах, вигинах та найбільш низьких місцях. Рідкі пробки в лінії викликають гідравлічні удари та тимчасове припинення подачі газу до місця споживання. Для запобігання конденсації парів газів лінії захищають теплоізоляцією, а в найбільш низьких ділянках газопроводів (та в інших місцях накопичення рідини) встановлюють збірники конденсату. Для уловлювання конденсату, що може знаходитися в газі, перед компресорами влаштовують буферні ємності, а перед апаратами – продувні пристрої для випуску конденсату.

В мірниках, резервуарах та інших апаратах, які пов'язані з атмосферою за допомогою дихальної арматури, підвищений тиск може утворитися через відсутність умов своєчасного видалення пароповітряної суміші (за умов наповнення апарата рідиною). Це частіше всього виникає при забрудненні або заledenінні вогнеперешкоджувача, коли пропускна спроможність дихальної системи не відповідає швидкості наливу рідини. Такі ж причини можуть призвести і до утворення вакууму при спорожненні резервуара та викликати здавлювання його корпусу. Пропускна спроможність дихальних ліній та встановлених на них дихальних клапанів повинна відповідати швидкості закачування рідини в резервуар. При цьому необхідно враховувати виділення з рідини розчинених газів, особливо при закачуванні нестабільних нафт та бензинів.

Примерзання дихальних клапанів можна зменшити шляхом їх виготовлення з пластмас, фторопласту або футерівки пластмасою робочих поверхонь.

До утворення небезпечного тиску може також призвести несвоєчасне відкривання засувки на лінії, в яку подається продукт, неповне відкривання засувки або відключення лінії

без попереднього попередження оператора насосної або компресорної станції.

Значна кількість аварій, що супроводжуються вибухами та пожежами, виникає при пуску компресорів із закритими засувками на викидних газових лініях.

Для запобігання аварій та пошкоджень з подібних причин необхідно:

- віддавати перевагу відцентровим насосам та компресорам;
- підбирати відцентрові насоси та компресори без значного перевищення їх характеристик над номінальними;
- у поршневих насосів та компресорів влаштовувати циркуляційну лінію з перепускним клапаном (рис.5.6);
- використовувати пристрої, які автоматично регулюють роботу насоса або компресора в залежності від величини тиску в лінії.

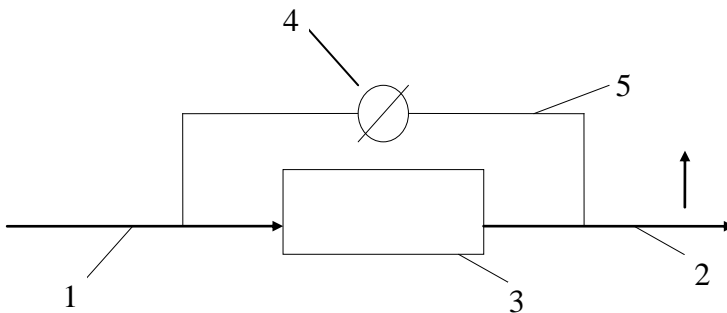


Рисунок 5.6 - Поршневий насос з циркуляційною лінією  
1 - всмоктувальна лінія; 2 - нагнітальна лінія; 3 - поршневий насос; 4 - перепускний пристрій; 5 - циркуляційна лінія

**Порушення теплового балансу апаратів.** Багато хімічних процесів проходять з виділенням значної кількості тепла, з утворенням побічних продуктів у виді парів та газів. Надлишкове тепло, а також надлишкові газоподібні продукти своєчасно відводять з апарата, за рахунок чого в ньому підтримується нормальний робочий тиск.

Так, наприклад, тепловий баланс хімічного реактора у загальному виді можна представити наступною формулою:

$$Q_p = Q_H + Q_B + Q_{\text{розк.}} + Q_{\text{вт}} + Q_{\text{від}}, \quad (5.8)$$

де  $Q_p$  – кількість тепла, що виділяється в результаті хімічної реакції;

$Q_H$  – кількість тепла, що витрачається на нагрівання речовин;

$Q_B, Q_{\text{розк.}}$  – кількість тепла, яка витрачається відповідно на випаровування та на розкладання речовин;

$Q_{\text{вт}}$  – тепловтрати в навколишнє середовище;

$Q_{\text{від}}$  – надлишок тепла, який необхідно відвести від апарата (реактора).

З рівняння (5.8) видно, що якщо збільшиться тепловиділення хімічної реакції при незмінному відведенні тепла з апарата або порушиться процес відводу надлишкового тепла, тоді за однієї і тієї ж кількості тепловиділень будуть збільшуватися всі останні складові правої частини рівняння теплового балансу. Збільшення  $Q_H, Q_B, Q_{\text{розк.}}$  приведе до зростання температури в апараті, підвищеного виходу побічних газів та пароподібних продуктів і зростання тиску в системі. Підвищення робочої температури в апараті, у свою чергу, викличе підвищення швидкості хімічної реакції, а отже, і збільшення тепловиділень в одиницю часу. Таким чином, створюються умови для лавиноподібного процесу зростання тепловиділень та різкого підвищення тиску, для переходу хімічної реакції у вибух.

Швидкість хімічної реакції може зростати не тільки в результаті підвищення температури, але і за відповідного порушення співвідношення речовин, що реагують, при збільшенні кількості каталізатора або ініціатора, що бере участь в реакції.

Зменшення кількості надлишкового тепла, що відводиться від апарата, відбувається через припинення подачі хо-



лодоагенту, забруднення теплообмінної поверхні холодильників твердими відкладеннями, зниження інтенсивності перемішування реагентів (зупинка мішалки) тощо. Подібні випадки спостерігаються при одержанні нітросполук, алюмінійорганічних сполук, пероксидів.

Підвищення тиску може виникати також за несвоєчасного відведення з реакторів надлишку газоподібних продуктів реакції, а також при утворенні пробок у відвідних та викидних лініях.

**Для запобігання порушення теплового балансу апаратів (хімічних реакторів) необхідно:**

- контролювати дозування хімічних речовин та каталізаторів автоматичними дозаторами;
- контролювати подачу необхідної кількості холодоагенту;
- своєчасно очищати теплообмінну поверхню від забруднень;
- забезпечувати своєчасне відведення газоподібних продуктів реакції, а за необхідності й автоматичне скидання надлишкового тиску. Викидні лінії виводять за межі приміщення або на факел, захищають від відкладень, своєчасно перевіряють надійність їх роботи.

**Порушення температурного режиму роботи апаратів.** Надзвичайно небезпечним випадком є утворення підвищеного тиску в апаратах і трубопроводах при нагріванні в них рідин і газів вище встановленої межі. Температурний режим може бути порушений через перегрів рідин та газів, що знаходяться у технологічному обладнанні. Перегрів також може виникнути через відсутність або несправність контрольно-вимірювальних приладів, недогляд обслуговуючого персоналу, вплив високонагрітих сусідніх апаратів, в результаті підвищеної температури навколишнього середовища. При цьому тиск в апаратах збільшується за рахунок об'ємного розширення речовин та збільшення пружності їх парів та газів.

Необхідно розрізняти два види апаратів, в яких названі явища будуть проявлятися по-різному, - це апарати, що повністю ізольовані, та апарати, що поєднані з іншими.

**Апарати з наявністю газів та перегрітої пари.** Тиск у герметичних апаратах з газами або перегрітими парами збільшується прямо пропорційно зростанню їх температури:

$$P_K = P_{\Pi} \cdot \frac{T_K}{T_{\Pi}} \cdot Z, \quad (5.9)$$

де  $P_{\Pi}, P_K$  - відповідно значення початкового та кінцевого тиску в апараті, Па;

$T_{\Pi}, T_K$  - відповідно початкова та кінцева температура речовини, К;

$Z$ - коефіцієнт стиснення газу за відповідних значень тиску і температури ( $Z < 1$ ).

В апаратах, балонах та трубопроводах із стисненими газами небезпечний тиск можливий лише за значного підвищення температури. Відмічено немало випадків, коли під впливом високої температури пожежі розривались газові балони, перекриті дільниці газопроводів, газові лічильники, резервуари та апарати з парами і газами.

**Апарати, що нормально заповнені горючими рідинами.** В герметичних апаратах і ємностях, нормально заповнених рідинами, над рідинами є паровий простір визначеного об'єму. Тиск визначається пружкістю насиченої пари рідини за даної температури. З підвищенням температури, яка не перевищує температуру кипіння рідини, тиск в таких апаратах також підвищується.

Кінцевий тиск в апаратах з насиченими парами рідин і наявністю рідкої фази за зміни температури можна визначити з умови:

$$P_K = P_S = f(T_K), \quad (5.10)$$

де  $P_S$  - тиск насиченої пари за температури  $T_K$ , Па.

При нормальному заповненні апарата рідиною газовий або паровий простір повинен бути достатнім, щоб виконувати роль компенсатора, тобто роль газового ковпака, і усувати небезпечний тиск.

зпеку утворення надмірно великих тисків за підвищення температури. Але неповне заповнення апаратів та балонів в той же час зменшує їх корисну ємність, знижує коефіцієнт використання внутрішнього об'єму, робить дорожчою його експлуатацію.

**Переповнені апарати та ємності.** 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 апарата, 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 виникло руйнування сферичного резервуара об'ємом  $600 \text{ м}^3$ , що був заповнений бутан-бутиленовою фракцією за температури повітря нижче  $0^{\circ}\text{C}$ . 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. Рідкий газ, що вилився назовні, швидко випаровувався, утворюючи при цьому газову хмару, яка рухалася за вітром у бік виробничих установок. Спалахування газу виникло від факелів полум'я форсунок трубчастих печей. В результаті цього вогнем були охоплені технологічні установки та резервуари з нафтопродуктами.

Підвищення температури на величину  $\Delta T$  викликає збільшення об'єму рідини, яка знаходиться в ємності, і деяку зміну об'єму самої ємності, причому об'єм рідини змінюється значно більшою мірою, ніж об'єм ємності. Стінки ємності гасять намагання рідини до розширення, ніби стискають її, за рахунок чого в ємності виникає надлишковий тиск  $\Delta P$ .

Приріст тиску в переповнених апаратах або трубопроводах (при їх нагріванні без врахування зміни розмірів апаратів) визначають за формулою:

$$\Delta P = \frac{\beta}{\beta_{\text{ст}}} \cdot \Delta t, \quad (5.11)$$

де  $\Delta P$  - приріст тиску, Па;

$\beta$  - коефіцієнт об'ємного розширення рідини, 1/град;

$\beta_{\text{ст}}$  - коефіцієнт об'ємного стиснення рідини, Па<sup>-1</sup> ;

$\Delta t = t_{\text{к}} - t_{\text{п}}$  - зміна температури в апараті, °С.

Коефіцієнти об'ємного розширення, стиснення та лінійного розширення змінюються за зміною температури, тому при розв'язанні задач необхідно брати їх середнє значення (у заданому інтервалі зміни температур).

Загальний тиск в апараті, що нагрівається, можна визначити з наступного співвідношення:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{р}} + \Delta P, \quad (5.12)$$

де  $P_{\text{заг}}$  – загальний тиск в апараті, Па;

$P_{\text{р}}$  – робочий (початковий) тиск рідини за даної температури, Па;

$\Delta P$  - приріст тиску в апараті за рахунок підвищення температури, Па.

**Дотримання температурного режиму роботи апаратів** досягається за допомогою проведення наступних профілактичних заходів:

- обладнання апаратів контрольно-вимірювальними приладами або автоматично діючими регуляторами температури;

- захист апаратів та ємностей від випромінювання зовнішніх джерел тепла теплоізоляцією, екрануванням, пофарбуванням поверхні в білий колір. Величина захисного шару теп-

лоізоляції апаратів та трубопроводів, а також товщина земляної засипки підземних резервуарів повинні бути такими, щоб температура усередині апарата за період впливу зовнішнього джерела тепла не могла піднятися понад встановлену величину;

- розміщення обладнання з горючими речовинами на визначених відстанях від приладів опалення та інших джерел тепла (наприклад, балони та інші переносні ємності з горючими газами і рідинами забороняється розташовувати ближче, ніж за 1-2 м від джерел тепла);

- захист апаратів запобіжними клапанами;

- контроль за ступенем заповнення апаратів горючими рідинами та скрапленими газами за допомогою пристроїв, що сигналізують про межу їх заповнення. При обладнанні ємностей із скрапленими газами таким пристроєм подача першого сигналу повинна проводитися при заповненні резервуара не більше ніж на 80%. При заповненні газових балонів кількість скрапленого газу, що подається, контролюється за масою.

Для створення оптимальних умов безпеки та економічності необхідно визначати максимально можливий ступінь заповнення ємностей рідиною або скрапленням газом.

В приблизних технічних розрахунках величина вільного простору в ємності, апараті та трубопроводі визначається наступним чином:

$$V_B = \beta \cdot V \cdot \Delta T_{\text{макс}}, \quad (5.13)$$

де  $V_B$  – об'єм вільного від рідини простору в апараті, м<sup>3</sup>;

$\Delta T_{\text{макс}}$  – максимальний перепад температур при експлуатації даного апарата, °С;

$\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення рідини, 1/град.

Таким чином, ступінь заповнення резервуарів та ємностей  $\varepsilon$  повинен бути не більшим за наступну величину:

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V} = 1 - \frac{V_B}{V} = 1 - \beta \cdot \Delta T_{\text{макс}}. \quad (5.14)$$

На практиці для забезпечення безпеки ступінь заповнення повинен бути:

- для ємностей та судин з скрапленими газами  $\epsilon \leq 0,85-0,9$ ;

- для ємностей та судин з горючими рідинами  $\epsilon \leq 0,9-0,95$ .

Встановлену норму заповнення апаратів перевищувати не можна для запобігання їх розриву при можливому перегріві. Забороняється також наглухо відключати окремі ділянки трубопроводів, заповнені скрапленими газами та іншими горючими рідинами, якщо в них можлива зміна температури. В цьому випадку на технологічній лінії закривають лише одну засувку.

**Порушення процесу конденсації парів.** В основі багатьох технологічних процесів виробництв - процеси випаровування горючих та легкозаймистих рідин. До таких процесів відносяться: перегонка та ректифікація розчинів на атмосферних та вакуумних установках, випаровування розчинників із розчинів, твердих речовин тощо. У кожному випадку випаровування рідини пов'язане з наступною конденсацією одержаної пари (рис.5.7). Однією з найбільш поширених причин підвищення температури, а отже, і тиску в ректифікаційній колоні та в інших апаратах, що пов'язані з нею, є порушення нормального процесу конденсації пари. У цьому випадку конденсація зменшується або зовсім припиняється в результаті зменшення кількості тепла, що відводиться від апарата з парою за незмінної кількості тепла, яка поступає до апарата від підігрівника. Тобто конденсація пари зменшиться або зовсім припиниться, а процес пароутворення буде продовжуватися, що призведе до накопичення кількості пари в колоні, конденсаторі та інших апаратах з наступним підвищенням тиску. При цьому частина пари, яка не сконденсувалася, буде виходити назовні через дихальну лінію на ємності конденсату, утворюючи навколо неї горючу суміш з повітрям.

Приріст тиску в системі в результаті порушення процесу конденсації пари можна визначити за формулою:

$$\Delta P = \frac{\alpha \cdot G_{\text{п}} \cdot \tau}{100 \cdot V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{т}}} \cdot P_0, \quad (5.15)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт неповноти конденсації пари, %;

$G_{\text{п}}$  - продуктивність апарата за паром, кг/с;

$\tau$  - тривалість порушення нормального режиму конденсації,

с;

$\rho_{\text{т}}$  - густина пари рідини за робочих температури та тиску в апараті, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{в}}$  - вільний об'єм системи, м<sup>3</sup>;

$P_0$  - тиск навколишнього середовища, Па

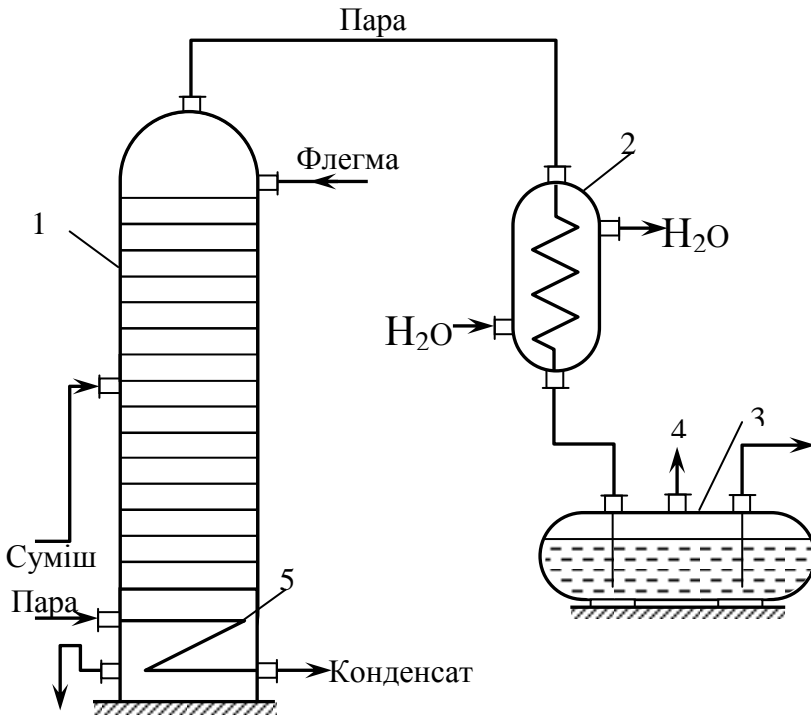


Рисунок. 5.7 - Установа ректифікації розчинів

1- колона; 2-конденсатор-холодильник; 3-приймач конденсату; 4- повітряна труба ємності; 5- підігрівник

Причиною порушення нормального процесу конденсації є зменшення або повне припинення подачі холодоагенту (води, розсолу, скрапленого газу тощо) або надходження його з більш високою початковою температурою, а також зменшення коефіцієнта теплопередачі від пари до холодоагенту за рахунок сильного забруднення теплообмінної поверхні відкладеннями з малою теплопровідністю.

Коефіцієнт неповноти конденсації в загальному виді можна представити наступним відношенням:

$$\alpha = \frac{Q_H - Q_D}{Q_H} \cdot 100, \quad (5.16)$$

де  $Q_H$  – кількість тепла, що передається через теплообмінну поверхню при повній конденсації пари, ккал/год;

$Q_D$  – кількість тепла, що передається при порушенні процесу конденсації пари, ккал/год.

В деяких випадках процеси ректифікації та випаровування розчинів проходять під вакуумом за більш низьких температур. Це необхідно не тільки з технологічних розумінь, але і в деяких випадках у зв'язку з необхідністю зниження пожежовибухонебезпеки процесу. Зниження температурного режиму зменшує можливість протікання в апаратах небажаних процесів термічного розкладання, полімеризації, коксоутворення тощо. Вакуум в системі створюється за рахунок конденсації парової фази та примусового відсмоктування з конденсатора спеціальним вакуум-насосом або вакуум-ежектором парів і газів, які не сконденсувалися. Якщо знизиться продуктивність або повністю зупиниться робота вакуум-насоса (ежектора), тоді вакуум порушиться і в системі виникне підвищений тиск. Величину приросту тиску в цьому випадку можна також визначити за формулою (5.15), а коефіцієнт неповноти конденсації парів - умовно визначити з наступного відношення:

$$\alpha = \frac{G_{\text{еж.н.}} - G_{\text{еж.д.}}}{G_{\text{еж.н.}}} \cdot 100, \quad (5.17)$$



де  $G_{\text{еж.н.}}$  – нормальна продуктивність вакуум-насоса або ежектора,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$G_{\text{еж.д.}}$  – дійсна продуктивність вакуум-насоса або ежектора,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

**Зниження пожежної небезпеки від порушення нормального процесу конденсації парової фази** досягається впровадженням наступних заходів протипожежного захисту:

- забезпечення безперервного контролю за величиною тиску в ректифікаційних колонах та випарних апаратах. Доцільно обладнувати апарати приладами автоматичного регулювання подачі охолоджуючої рідини (холодоагенту) в конденсатори, у залежності від тиску та температури парів, що поступають на конденсацію;

- контроль температури холодоагенту перед його надходженням до конденсаторів та після виходу з них. Не допускається підвищення понад встановленої величини температури холодоагенту після виходу його з конденсатора. Застосовують автоматичну систему регулювання кількості холодоагенту, що подається в конденсатори, в залежності від величини температури при виході його з конденсатора;

- регулярно проводити очистку теплообмінної поверхні від відкладень;

- контролювати роботу вакуум-насосів або вакуум-ежекторів, не допускати зниження їх продуктивності;

- при припиненні подачі холодоагенту або зупинці роботи вакуум-системи необхідно швидко (автоматично) припинити роботу апарата, який відповідає за вироблення пари. З цією метою застосовують конденсатори заглибного типу, а не кожухотрубчасті. Велика кількість холодоагенту в чаші заглибного конденсатора забезпечує конденсацію пари протягом 15-20 хвилин після припинення подачі холодної води або розсолу в конденсатор. За цей час можна ліквідувати неполадки або зупинити процес. Основний недолік таких конденсаторів – займають великі виробничі площі.

**Потрапляння рідин з низькою температурою кипіння до високонагрітих апаратів.** Якщо в апарат з високою робочою температурою потрапляє рідина, температура кипіння якої значно нижча за температуру в апараті, тоді відбудеться інтенсивне випаровування рідини і підвищення тиску.

**Приклад аварії.** На одному з нафтопереробних підприємств при пуску вакуумної колони в неї при температурі 370<sup>0</sup>С в результаті помилкового переключення ліній відкрили доступ бензину. Перші порції бензину, що потрапили до колони, випарувалися, підвищився тиск, який призвів до розриву корпусу апарата, - виникла пожежа.

Рідини, що мають низьку температуру кипіння (вода, бензин тощо), попадають до високотемпературного апарата разом з продуктами, що надходять до нього, через нещільності теплообмінної поверхні холодильників (що знаходяться усередині апаратів), при невірному переключенні ліній, у виді конденсату з парових технологічних та продувних ліній. При контакті рідини з низькою температурою кипіння з високотемпературним продуктом (або з корпусом апарата) виникає інтенсивне випаровування рідини з низькою температурою кипіння і тиск значно підвищується.

Приріст тиску у високотемпературних апаратах при попаданні в них рідин з низькою температурою кипіння та швидкому їх випаровуванні визначають за формулою:

$$\Delta P = 0,082 \cdot \frac{m \cdot T_p}{M \cdot V_B} \cdot P_0, \quad (5.18)$$

де  $P_0$  - тиск навколишнього середовища, Па;

$m$  - маса рідини з низькою температурою кипіння, яка потрапила до апарата і випарувалася в ньому, кг;

$V_B$  - вільний об'єм системи, м<sup>3</sup>;

$T_p$  - робоча температура в апараті, К;

$M$  - молекулярна маса рідини, що потрапила до апарата, кг/кмоль.

Слід відмітити, що при розв'язанні практичних задач, необхідно враховувати те, що рідина, яка потрапила в нагрітий апарат, може випаруватися не повністю. Кількість рідини, що при цьому випарувалася, буде залежати від багатьох умов, в тому числі й від числа робочих параметрів апарата, кількості та властивостей речовини, нагрітої до високої температури, кількості рідини, що потрапила до апарата, її властивостей та початкової температури. Для приблизного вирішення цього питання достатньо скласти рівняння теплового балансу.

**Для запобігання попаданню рідин з низькою температурою кипіння до апаратів, нагрітих до високих температур, необхідно:**

- на лініях подачі гострої водяної пари (з метою обігріву, перемішування, продувки, видавлювання речовин) влаштувати пристрої для спуску конденсату (рис. 5.8);

- для запобігання конденсації пари подавати її тільки в достатньо нагріті (понад  $100^{\circ}\text{C}$ ) апарати;

- контролювати наявність в апаратах залишків рідин, що можуть бути наявні після промивки їх або гідравлічного випробування;

- контролювати кількість води в сировині, яка підлягає нагріву.

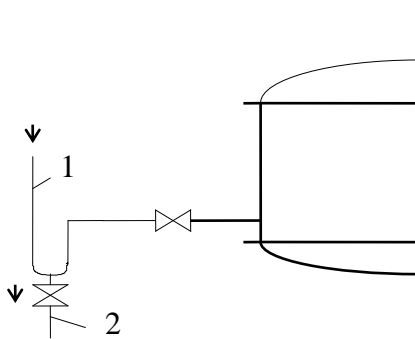


Рисунок 5.8 - Пристрій для продування парової лінії від конденсату

1- лінія водяної пари; 2- дренажна лінія

### 5.1.2 Запобігання впливу на матеріал апаратів навантажень динамічного характеру

Динамічні навантаження викликають утворення внутрішніх напружень в конструкціях апарата, значно вищих за ті, що виникають за статичної дії цих навантажень. Відношення внутрішнього напруження, яке викликане навантаженнями динамічного характеру, до напруження, що викликане статичним впливом, називають **динамічним коефіцієнтом**, величина якого коливається в діапазоні від 1,5 до 15.

Динамічні навантаження виникають за різких змін величини тиску в апаратах, при гідравлічних ударах, які пов'язані з різким гальмуванням потоку рідини або газу, що рухаються, в результаті вібрацій, від випадкових ударів транспортом, який рухається, при падінні вантажів тощо.

Різкі зміни тиску в апаратах або трубопроводах можуть виникати при випробуваннях їх на міцність, при пуску в експлуатацію, в моменти зупинки, а також при грубих порушеннях встановленого режиму температур та тиску.

**Гідравлічні удари** виникають звичайно в результаті швидкого закривання та відкривання вентилів на трубопроводах, за великих пульсацій рідини, що подається насосами, за різкої зміни тиску на будь-якій ділянці трубопроводу. Впливу гідроударів частіше всього піддаються трубопроводи і насоси.

Приріст тиску ( $\Delta P$ ) в трубопроводі, який виникає при повному гідравлічному ударі, можна визначити за формулою Н.Е.Жуковського:

$$\Delta P = c \cdot \Delta \omega \cdot \rho_t, \quad (5.19)$$

де  $c$  - швидкість поширення ударної хвилі, м/с;

$\rho_t$  - густина рідини за робочої температури, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta \omega$  - зменшення швидкості руху рідини в трубопроводі, визначається за формулою, м/с:

$$\Delta\omega = \omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{кін}}, \quad (5.20)$$

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

Швидкість поширення ударної хвилі можна визначити за формулою:

$$c = \sqrt{\frac{E_p}{\rho} \left[ 1 + \left( \frac{d}{\delta} \right) \cdot \frac{E_p}{E} \right]}, \quad (5.21)$$

де  $d$  - внутрішній діаметр трубопроводу, м;

$\delta$  - товщина стінки трубопроводу, м;

$E$  - модуль пружності матеріалу трубопроводу;

$E_p$  - модуль пружності рідини (величина, обернена до коефіцієнту об'ємного стиснення  $\beta_{\text{ст}}$ ).

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

Частою причиною пошкодження газових компресорів від гідравлічних ударів є потрапляння в їх циліндри рідин (води, газового конденсату, дистильованих продуктів) разом з газом, що поступає на стиснення. Це відбувається за відсутності на газовій лінії перед компресором пристроїв для очищення газів від рідин. Оскільки рідина практично не стискається, вплив на неї поршня, який швидко рухається, приводить до поломки штока, самого поршня, клапанів і навіть стінок циліндрів. З потоком газу в циліндри компресорів може потрапити також незначна кількість змашувального компресорного масла із ступінчастих віддільників мастила, особливо при порушенні встановленого для них рівня рідини та за сильної пульсації газу. В циліндри компресора може також потрапити вода з холодильників газу, коли теплообмінна поверхня холодильника пошко-

джена, а тиск газу менший за тиск води. Частіше всього це відбувається в періоди тимчасової зупинки та пуску компресора, оскільки при непрацюючому компресорі та несправному холодильнику вода накопичується в газовій лінії, а при пуску газ продавлює воду в компресор.

Коли тиск газу більший за тиск води, через пошкоджені трубки холодильника горючий газ буде потрапляти до води, створюючи при цьому небезпеку вибуху апаратів (наприклад, градирень), які застосовуються для охолодження оборотної води.

**Захист апаратів і трубопроводів від гідравлічного удару** полягає в наступному:

- влаштування на з'єднувальних лініях поблизу апаратів з великим тиском зворотних запобіжних клапанів;
- зниження пульсації тиску шляхом влаштування на лінії газових ковпаків або підключення апаратів з пароповітряним об'ємом;
- контроль за різкою зміною продуктивності насосів;
- заміна поршневих насосів на відцентрові насоси;
- контроль за плавністю зміни тиску при пуску та зупинці апаратів у період переходу з одного режиму тиску на інший;
- контроль за попаданням в компресори рідин.

**Вібрації апаратів та трубопроводів** виникають в результаті систематичної зміни внутрішнього тиску або при впливі внутрішніх підбурюючих сил. В результаті вібрації утворюються нещільності у фланцевих з'єднаннях, руйнуються шви, виникає руйнація.

Вібрація спостерігається в трубопроводах, які знаходяться під тиском та недостатньо закріплені, в апаратах, що з'єднані з поршневими насосами та компресорами, а також у недостатньо закріплених зовнішніх апаратах і від впливу вітру.

Найбільша небезпека від вібрації виникає в тому випадку, коли число коливань підбурюючої сили за своїм значенням буде наближатися до числа особистих коливань системи або відрізнитися від нього на ціле число разів. При цьому спостері-

гається так зване „явище резонансу”. Параметри вібрації вимірюють вібрографами.

**Для запобігання вібрації технологічного обладнання необхідно:**

- зменшити пульсацію при роботі насосів (заміна поршневих насосів відцентровими, встановлення „повітряних” ковпаків тощо);
- влаштувати під агрегатами, що вібрують, масивні фундаменти;
- ізолювати агрегати, які вібрують, від фундаментів конструктивних елементів будівель;
- застосовувати еластичні прокладки, пружини та інші пристрої для гасіння коливань;
- контролювати міцність кріплення апаратів (трубопроводів).

До механічних пошкоджень від дії навантажень динамічного характеру також можна віднести пошкодження від необережної роботи цехового транспорту, ударів падаючими вантажами, ударної дії уламків при аваріях сусідніх апаратів тощо. Для запобігання пошкодження обладнання на виробництві влаштовують захисні огороження, обмежують швидкість руху транспорту, вантажопідйомних машин та механізмів, трубопроводи прокладають в закритих траншеях або на естакадах, обмежують зони проїзду транспорту, газові лінії прокладають над мостовими кранами та іншими засобами переміщення вантажів.

### **5.1.3 Захист апаратів запобіжними клапанами**

Для захисту апаратів і трубопроводів від надмірного тиску, що може виникнути за умов їх експлуатації, застосовують запобіжні та мембранні клапани, область застосування яких наводиться в правилах влаштування та безпечної експлуатації судин, які працюють під тиском.

**Запобіжний клапан** представляє собою пристрій автоматичної дії, призначений для випуску з ємностей надлишкової

кількості газу, пари або рідини при збільшенні тиску понад встановлені межі.

Принципова схема запобіжного клапана показана на рис.5.9.

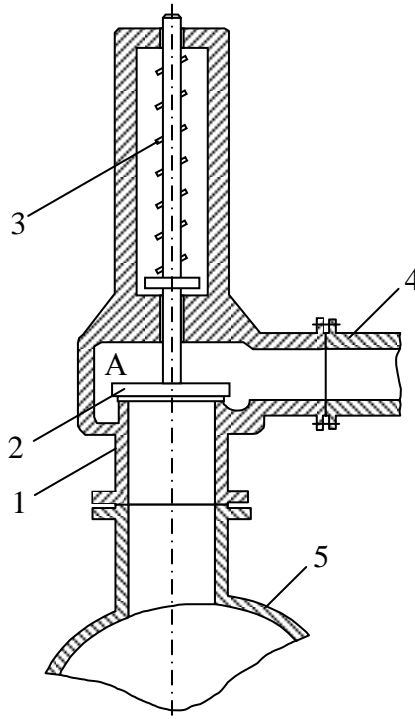


Рисунок 5.9 - Принципова схема запобіжного клапана  
1- корпус; 2- золотник; 3- пружина; 4- відвідний трубопровід;  
5- судина

За відсутності в судині перевищення допустимого робочого тиску на золотник 2 клапана зверху вниз діє постійне зусилля попередньо стиснутої пружини 3. У випадку виникнення тиску в судині на золотник починає діяти сила, протидіюча до зусилля пружини. Поки вона менша за зусилля пружини, їх різниця створює ущільнення між золотником 2 та сідлом корпуса 1 клапана. При збільшенні тиску в судині ущільнююча сила зменшується до нуля, після чого подальше збіль-



шення тиску приводить до відкривання клапана, при цьому з ємності 5 газ скидається через відвідний трубопровід 4 в атмосферу або спеціальну ємність.

Запобіжні клапани класифікують за способом створення навантаження на золотник, за висотою підйому золотника, за способом відкривання клапана та за способом випуску з нього середовища.

За способом створення навантаження на золотник клапани бувають:

- вантажні з прямим навантаженням золотника;
- вантажні важільні;
- пружинні з прямим навантаженням золотника;
- пружинні важільні; пружинні з допоміжним поршнем.

**Вантажні запобіжні клапани** з прямим навантаженням золотника застосовуються в основному для захисту апаратів, які працюють при низькому тиску (рис. 5.10).

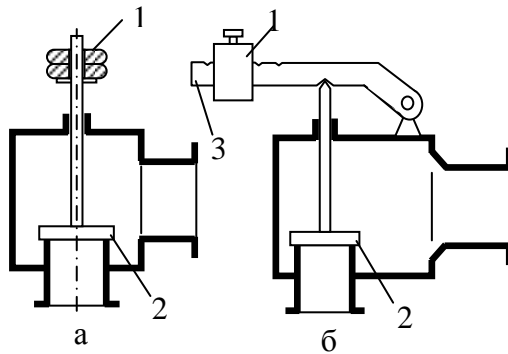


Рисунок 5.10 - Вантажні запобіжні клапани

а- вантажний з прямим навантаженням; б- вантажний важільний; 1-вантаж; 2- золотник; 3- важіль

Вантажні важільні клапани (рис.5.10 б) мають більш широку сферу застосування, оскільки дозволяють у великих межах змінювати тиск спрацьовування. Перевагою вантажних клапанів є простота конструкції та постійність навантаження на золотник при його підйомі; недоліками – великі габарити, схи-

льність до вібрації та неможливість застосування на пересувних установках.

**Пружинні запобіжні клапани з прямим навантаженням** золотника (рис. 5.11) є найбільш розповсюдженим типом клапанів. Вони мають малі габаритні розміри за більших прохідних перерізів і їх можна улаштувати на пересувних установках, наприклад, на автомобільних та залізничних цистернах. Недоліком пружинних клапанів є те, що при підйомі золотника зростає зусилля пружини, внаслідок її стиснення.

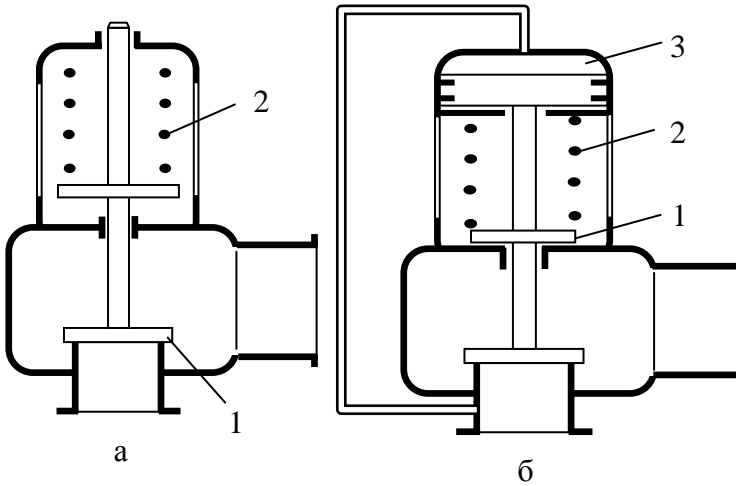


Рисунок 5.11 - Пружинні запобіжні клапани  
а- пружинний з прямими навантаженням; б- пружинний з допоміжним поршнем; 1-золотник; 2- пружина; 3- поршень

За висотою підйому золотника запобіжні клапани поділяються на низькопідйомні, середньопідйомні та повнопідйомні.

Низькопідйомні клапани застосовують для рідких середовищ, головним чином в тих випадках, коли не вимагається велика пропускна спроможність.

Середньопідйомні клапани застосовуються як перепускні.

Повнопідйомні клапани відрізняються високою продуктивністю, оскільки переріз щілини при підйомі золотника дорівнює або є більшим перерізу сопла клапана.

За способом відкривання клапани бувають прямої та непрямої дії.

Запобіжні клапани прямої дії відкриваються під дією сили, яка створюється тиском середовища в системі. До них відносяться всі розглянуті вище клапани. Для відкривання клапана непрямої дії на нього подається регулюючий імпульс. На рис. 5.12 показано основний запобіжний клапан 6 непрямої дії, під поршень якого подається регулюючий імпульс від допоміжного клапана 7 з голчастим вентилям 8. Зусилля пружини основного клапана 6 розраховано на величину, більшу за силу тиску середовища на золотник, тому в закритому стані золотник щільно прижаний до сопла і забезпечує цим самим надійну герметичність. При перевищенні тиску понад встановлений в ємності, яка захищається, спрацьовує запобіжний клапан 7, і середовище, яке скидається, подається під поршень основного клапана, забезпечуючи його відкривання. Повна пропускна спроможність такої системи досягається вже за незначного перевищення тиску в ємності.

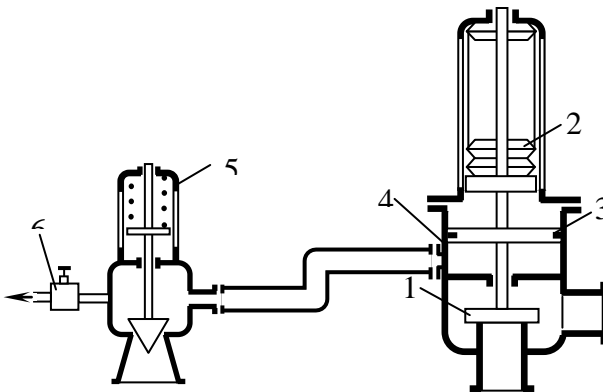


Рисунок 5. 12– Клапан непрямої дії

1- золотник; 2- важіль; 3- поршень; 4- основний запобіжний клапан; 5- допоміжний клапан; 6 - вентиль

Перевагою запобіжних клапанів непрямої дії є можливість отримання високої пропускної спроможності за рахунок збільшення діаметра сопла. Недоліком їх є залежність надійності від працездатності основного та допоміжного клапанів.

За способом випуску середовища запобіжні клапани бувають **відкритого** та **закритого типу**.

**Клапани відкритого типу** не мають патрубка для підключення відвідних трубопроводів і випускають робоче середовище в атмосферу.

**Клапани закритого типу** мають патрубок для підключення відвідного трубопроводу. Середовище, яке скидається через клапан, може відводитися на безпечну відстань або в спеціальну герметичну ємність. Клапани закритого типу мають широке застосування в хімічній галузі, оскільки вони можуть використовуватися на установках з вибухонебезпечними і токсичними газами.

**До роботи запобіжних клапанів пред'являються наступні основні вимоги:**

- безвідмовне відкривання клапана за заданим тиском;
- безвідмовне закривання клапана;
- зберігання повної герметичності клапана в закритому стані;
- у відкритому стані клапан повинен мати таку пропускну спроможність, щоб після його спрацьовування тиск в ємності, яка захищається, не міг більше підвищуватися.

Слід відмітити, що вимоги безвідмовності відкривання та достатньої пропускної спроможності повинні виконуватися безперечно, оскільки від цього повністю залежить надійність захисту технологічного обладнання від руйнування.

**Пропускна спроможність запобіжних клапанів** повинна бути розрахована таким чином, щоб при їх спрацьовуванні тиск, який утворюється в системі, не міг перевищити встановлених визначених значень, що залежать від робочого тиску системи. Пропускна спроможність визначається висотою підйому золотника, яка є однією з основних характеристик запобіжних клапанів.

При розрахунках пропускної спроможності  $G$  (кг/с) або площі перерізу запобіжного клапана для парів та газів користуються наступною формулою:

$$G = 1,41 \cdot \alpha \cdot F \cdot V \cdot \sqrt{(P_1 - P_2) \cdot \rho_t}, \quad (5.22)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт витрати, який наводиться в паспорті клапана або приймається приблизно  $0,75 \div 0,85$ ;

$F$  – площа прохідного перерізу клапана,  $m^2$ ;

$V$  – коефіцієнт, який визначається за таблицею 5.1. Для рідин коефіцієнт  $V$  приймають рівним 1;

$P_1$  – надлишковий тиск спрацьовування клапана, МПа;

$P_2$  – надлишковий тиск за запобіжним клапаном, МПа;

$\rho_t$  – густина середовища за умов спрацьовування клапана ( $P_1$  і  $t_1$ ),  $kg/m^3$ .

Таблиця 5.1 - Значення коефіцієнтів  $V$

$p_2/p_1$	Коефіцієнти $V$ за значенням показника адіабати $K$						
	1,24	1,30	1,40	1,66	2,0	2,5	3,0
0,00	0,464	0,472	0,484	0,513	0,544	0,582	0,612
0,04	0,474	0,482	0,494	0,524	0,556	0,594	0,625
0,12	0,495	0,503	0,516	0,547	0,580	0,620	0,653
0,20	0,519	0,527	0,531	0,573	0,609	0,651	0,685
0,32	0,563	0,572	0,587	0,622	0,660	0,706	0,743
0,40	0,598	0,609	0,625	0,662	0,702	0,751	0,788
0,50	0,656	0,667	0,685	0,725	0,765	0,807	0,836
0,60	0,730	0,741	0,757	0,790	0,822	0,855	0,878
0,72	0,818	0,826	0,837	0,860	0,883	0,905	0,920
0,80	0,873	0,878	0,886	0,903	0,919	0,935	0,945
0,92	0,951	0,953	0,956	0,963	0,969	0,975	0,979

Запобіжні клапани необхідно влаштовувати безпосередньо на штуцері апарата у вертикальному положенні. Якщо конструкція апарата або інші виробничі умови не дозволяють встановити клапан на штуцері, то допускається влаштування його на трубопроводі або на спеціальному патрубку безпосередньо поруч із штуцером апарата за умов, що між апаратом та

клапаном не повинно бути запірної арматури. Діаметр відповідного штуцера повинен бути не менше діаметра прохідного перерізу з'єднувального фланця з боку входу продукту в запобіжний клапан. Діаметр відповідного трубопроводу повинен бути не менше діаметра випускного фланця клапана. У всіх випадках, коли це можливо, рекомендується застосовувати короткий відвідний трубопровід із скиданням середовища безпосередньо в атмосферу; при цьому скидний стояк повинен мати дренажний отвір діаметром 20-50 мм для спуску рідини з його нижньої частини до збірника або промислової каналізації.

Для кожного запобіжного клапана бажано влаштовувати окрему вихлопну трубу. Допускається об'єднувати декілька вихлопних труб від запобіжних клапанів в загальний колектор. При цьому колектор повинен мати більший прохідний переріз, ніж вихлопний патрубок будь-якого з клапанів, що входять в дану групу, і мати мінімальне число поворотів та мінімальну довжину.

Розміри, кількість, а також тиск спрацьовування запобіжних клапанів підбирають з таким розрахунком, щоб в апараті не міг утворитися тиск, що на 0,05 МПа перевищує робочий (для апаратів з надлишковим тиском від 0,07 до 0,3 МПа), більше ніж на 15% - для апаратів з робочим тиском до 6 МПа і на 10% - для апаратів з тиском понад 6 МПа.

Запобіжні клапани регулюють на тиск, за яким вони повинні працювати. Клапани мають захисний пристрій з пломбою, який не дозволяє довільно змінювати навантаження клапана.

На апаратах колонного типу з великою кількістю тарілок або великою висотою насадок запобіжні клапани влаштовують зверху та на кубовій частині колони.

На апаратах та ємностях із скрапленими газами влаштовують по два запобіжних клапани – кожен на повну пропускну спроможність. Резервуари та ємності із скрапленими газами представляють собою велику небезпеку в умовах пожежі, оскільки обігрів резервуара при пожежі приводить до інтенсивного випаровування скрапленого газу. Оскільки клапани можуть бу-

ти не розраховані на такі умови, при підвищенні тиску можуть виникнути умови для пошкодження ємності. Тому на практиці експлуатації резервуарів з скрапленими газами при розрахунках запобіжних клапанів доцільно враховувати вплив на ємності теплоти можливої пожежі.

На ємностях для зберігання бутану, бутадієну, газового бензину та інших подібних речовин, крім запобіжних клапанів, повинні бути встановлені два вакуумних клапани, розраховані на підсмоктування азоту при вакуумі, рівному 3 кПа та вище, що утворюється за низьких температур зовнішнього середовища.

З метою перевірки справності запобіжних клапанів їх забезпечують пристроями для примусового відкривання під час роботи апарата.

Для зниження витоків через запобіжні клапани (через нещільне прилягання тарілки клапана до сідла або пульсації тиску), а також для захисту деталей клапана від корозії агресивним технологічним середовищем між клапаном та апаратом влаштовують розривну мембрану, яка представляє собою тонку пластину, що руйнується при підвищенні тиску в апараті. Більш детально мембранні пристрої розглянуті у главі 10 даного по-сібника.

#### **5.1.4 Ерозія матеріалу апаратів та трубопроводів**

Небезпечні внутрішні напруження в конструкції можуть виникнути навіть за нормальних робочих навантажень, якщо в результаті механічного впливу середовища, що обробляється, буде зменшуватися товщина матеріалу стінки апарата або трубопроводу. Механічний знос матеріалу середовищем, що рухається, називається **ерозією**.

Ерозія металів виникає при обтіканні конструкцій потоком твердих, рідких або газоподібних часток або при електричних розрядах.

Внаслідок ударів об поверхню конструкції, частки потоку руйнують поверхневий прошарок, що призводить до зменшення товщини стінки, утворення борозенок, раковин тощо.

Ерозія помітно підсилюється із збільшенням енергії часток, які рухаються, з підвищенням температури та збільшенням шорсткості поверхні.

Ерозія буває: **газова; абразивна, кавітаційна, електрична, ультразвукова.**

За газової ерозії метал руйнується під дією струменя газу, що швидко рухається або ударяється об перешкоду; за абразивної - під впливом струменя газу або рідини, в яких знаходяться тверді частки у завислому стані; за кавітаційної - внаслідок дії парогазових бульбашок у струмені рідини; за електричної - під впливом електричних іскор; за ультразвукової - під впливом звукових коливань завислих твердих часток в рідині.

Явище ерозії використовують в техніці (наприклад, для очищення поверхонь піском або іншими абразивними матеріалами, обробки виробів ультразвуком, а також при електроіскровій та електроімпульсній обробці твердих матеріалів).

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

При цьому значно зношуються стінки ректифікаційних колон у місцях вводу початкової суміші, шлемові труби, кінці труб змійовиків трубчастих печей, трубопроводи пневматичного та самопливного транспортування твердих подрібнених матеріалів тощо.

Кавітаційна ерозія зустрічається при експлуатації гідравлічних машин.

**Для захисту технологічного обладнання від дії ерозії використовують наступні заходи:**

– підбирають стійкий для даного виду ерозії матеріал. Високу стійкість до ерозії мають молібденові сталі. При визначенні товщини стінки дають прибавку на ерозію, а за необхідності застосовують захисну футерівку;



- зменшують шорсткість поверхні шляхом хімічно-термічної обробки, підвищують поверхневу твердість та зносостійкість матеріалу;
- знижують турбулентність потоку, зменшують кількість поворотів, роблять їх більш плавними;
- не допускають прямого удару ерозійного струменя в стінку апарата, використовуючи при цьому відбивачі, розсікачі струменя;
- проводити очищення газів та рідин від твердих домішок;
- не допускати роботу гідравлічних машин в режимі кавітації;
- контролювати знос матеріалу, не допускаючи при цьому стоншення стінки проти встановленої норми.

## **5.2 Пошкодження технологічного обладнання в результаті температурних впливів та його попередження**

При експлуатації технологічного обладнання нещільності та пошкодження можуть виникнути в результаті утворення не передбачених розрахунком температурних напружень в матеріалі стінок апаратів та трубопроводів, а також в результаті зміни механічних властивостей металів під впливом температури.

Небезпечні температурні напруження в матеріалі виникають за різких змін робочої температури апарата або навколишнього середовища, під впливом нерівномірної дії температури на конструктивні елементи апарата, а також при дії неоднакової температури на жорстко закріплені конструкції та вузли апаратів. Загальне внутрішнє напруження, що виникає в матеріалі від дії корисного навантаження та від температурних впливів, може перевищувати межі текучості, міцності і викликати появу незворотних деформацій, розриви стінок апарата, трубопроводу.

Механічні властивості металу можуть змінюватися в гіршу сторону при дії на апарат не передбачених розрахунком як високих, так і низьких температур. При цьому навіть нормальні робочі навантаження можуть привести до появи незворотних деформацій та пошкодження апаратів або трубопроводів.

### 5.2.1 Температурні перенапруження

Будь-яка зміна робочої температури або температури навколишнього середовища приводить до зміни температури матеріалу апаратів, трубопроводів, а отже, до зміни розмірів окремих елементів, вузлів або конструкції в цілому. Якщо конструктивне влаштування вузлів або конструкції в цілому не перешкоджає вільній зміні їх лінійних розмірів за змін температури, тоді додаткових внутрішніх напружень в матеріалі не виникає. За відсутності таких можливостей в матеріалі виникають додаткові температурні напруження, величина яких залежить від багатьох факторів, в тому числі і від властивостей матеріалу, розмірів конструкції та характеру закріплення її кінців, величини перепаду температури.

Якщо апарат (трубопровід) за зміни температури вільно змінює свої розміри, пошкодження не відбувається. Зміна довжини конструкції  $\Delta l_t$  при цьому буде дорівнювати:

$$\Delta l_t = \alpha \cdot l \cdot \Delta t, \quad (5.23)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу конструкції, 1/град;

$\Delta t$  – зміна температури,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$l$  – довжина конструкції, м.

За відсутності умов вільної зміни лінійних розмірів апарата (трубопроводу), тобто в жорстко закріпленій конструкції, за зміни температури виникають температурні напруження, величину яких можна визначити, склавши рівняння сумісних деформацій:

$$\Delta l_t = \Delta l_p, \quad (5.24)$$

де  $\Delta l_p$  – зміна довжини конструкції під впливом сили, що виникає за зміни температури, м.  
Згідно закону Гука відомо, що

$$\Delta l_p = \frac{p_t \cdot l}{F \cdot E} = \frac{\sigma_t \cdot l}{E}, \quad (5.25)$$

де  $p_t$  – сила, яка виникає при дії температури на конструкцію;

$F$  – площа перерізу конструкції, м<sup>2</sup>;

$E$  – модуль пружності матеріалу, Па;

$\sigma_t$  – температурні напруження, Па.

Підставляючи (5.23) та (5.25) в (5.24), одержимо:

$$\sigma_t = \alpha \cdot E \cdot \Delta t. \quad (5.26)$$

#### **Температурні напруження виникають:**

- при жорсткому кріпленні трубопроводів;
- за наявності в апаратах біметалевих конструкцій або конструктивних елементів, що знаходяться під впливом неоднакових температур;
- в товстостінних конструкціях;
- за місцевих змін температур в матеріалі.

**Температурні напруження в трубопроводах.** В процесі експлуатації температура в трубопроводах може змінюватися із зміною температури навколишнього середовища. Високе температурне напруження в матеріалі труб, якщо не вживати заходів до його усунення, може зруйнувати трубопровід, арматуру, опори та нанести пошкодження обладнанню (насосам, фільтрам тощо).

Максимальна величина зміни довжини трубопроводу за зміни температури та внутрішнє температурне напруження матеріалу труб визначається за формулами (5.23) і (5.26).

### **Захист трубопроводів від температурних напружень здійснюється:**

- установкою температурних компенсаторів. Компенсатори бувають лінзові, гнуті (П-подібні, ліроподібні тощо) (рис.5.13) та сальникові. Вигини та повороти трубопроводів можуть також виконувати роль температурних компенсаторів;
- застосуванням рухомих опор, які в деяких випадках застосовуються для кріплення труб з можливістю їх деякого переміщення в подовжньому напрямку;
- контроль за справністю теплової ізоляції, яка зменшує можливий перепад температур.

Температурні напруження в теплообмінних апаратах. В апаратах, де протікають процеси теплообміну, можуть виникати такі випадки, коли деякі конструктивні елементи, що жорстко закріплені на кінцях, в процесі експлуатації мають неоднакову температуру. Це відноситься до кожухотрубчастих теплообмінників, трубчастих реакторів, апаратів з оболонками для обігріву або охолодження.

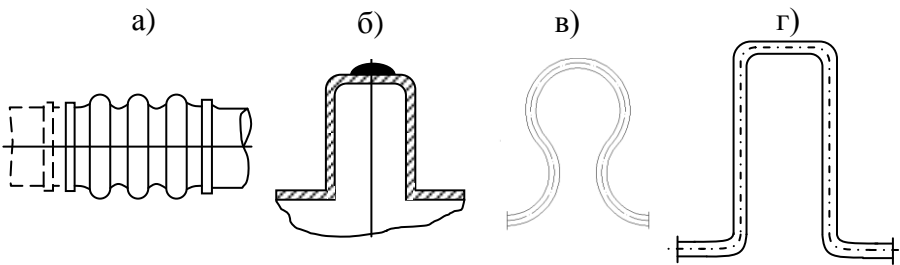


Рисунок 5. 13- Види компенсаторів  
а- хвилясті; б-лінзові; в, г- гнуті

В таких конструкціях виникають додаткові температурні напруження. Додаткові температурні напруження при дії навіть постійної за величиною температури виникають в конструкціях, виконаних з різних матеріалів та жорстко пов'язаних між собою (наприклад, в шаруватих стінках, трубах і стриж-

нях з матеріалів з різними коефіцієнтами лінійного розширення).

Силу, яка виникає між жорстко з'єднаним корпусом та трубами теплообмінника за рахунок температурних напружень, можна визначити за формулою:

$$P_t = \frac{\alpha_k \cdot t_k - \alpha_t \cdot t_t}{\frac{1}{E_k \cdot F_k} + \frac{1}{E_t \cdot F_t}}, \quad (5.27)$$

де  $\alpha_k$  та  $\alpha_t$  – коефіцієнти лінійного розширення для матеріалу корпусу та труб за відповідних температур, 1/град;

$t_k, t_t$  – розрахункові температури корпусу та труб теплообмінника, град;

$E_k, E_t$  – модулі пружності для матеріалу корпусу та труб теплообмінника, Па;

$F_k, F_t$  – площі поперечного перерізу корпусу та труб, м<sup>2</sup>.

Температури корпусу і труб теплообмінних апаратів при розрахунках приймають виходячи з максимальної різниці між ними, яка можлива в процесі роботи, пуску та зупинки апарата.

Крім сили  $p_t$ , на жорстко закріплені частини апарата діє і сила  $P$ , викликана тиском середовища в міжтрубному та трубному просторах, тобто:

$$P = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ (D_B^2 - z \cdot d_3^2) \cdot P_M + z \cdot d_B^2 \cdot P_t \right], \quad (5.28)$$

де  $D_B$  - внутрішній діаметр корпусу теплообмінника, м;

$z$  – число трубок;

$d_3, d_B$  – відповідно зовнішній та внутрішній діаметр труб, м;

$P_M, P_t$  – тиск середовища відповідно в міжтрубному та трубному просторах, Па.

Температурні напруження в теплообмінних апаратах з жорстким з'єднанням корпуса та трубок визначають за формулами:

$$\sigma_{\max}^k = \frac{P_t}{F_k} \pm \frac{P \cdot E_k}{E_k \cdot F_k + E_t \cdot F_t}, \quad (5.29)$$

$$\sigma_{\max}^t = \frac{P_t}{F_t} \pm \frac{P \cdot E_t}{E_k \cdot F_k + E_t \cdot F_t}, \quad (5.30)$$

де  $\sigma_{\max}^k$ ,  $\sigma_{\max}^t$  - максимальні напруження в матеріалі корпуса і труб теплообмінника, Па.

Небезпека руйнування теплообмінника виникає, якщо  $\sigma_{\max}^k$  або  $\sigma_{\max}^t$  будуть більшими за розрахункові допустимі напруження  $\sigma_{\text{доп}}$ .

Якщо робоча температура не перевищує для вуглецевих та низьколегованих сталей  $380^{\circ}\text{C}$ , а для високолегованих сталей  $525^{\circ}\text{C}$ , за нормативно допустиме напруження приймають найменше з двох значень:

$$\sigma_{\text{доп}} = \min \left[ \frac{\sigma_M}{n_M}; \frac{\sigma_T}{n_T} \right], \quad (5.31)$$

де  $\sigma_{\text{доп}}$  - нормативно допустиме температурне напруження, Па;

$\sigma_M$ ,  $\sigma_T$  - відповідно межа міцності та текучості матеріалу, Па;

$n_M$ ,  $n_T$  - запаси міцності відповідно на межі міцності та межі текучості, наприклад, при розрахунках хімічного та нафтохімічного обладнання звичайно приймають  $n_M=2,7-4,25$  і  $n_T=1,2-1,9$ .

За більш високих температур за нормативно допустиме напруження приймають:

$$\sigma_{\text{доп}} = \min \left[ \frac{\sigma_{\text{T}}^t}{n_{\text{T}}}; \frac{\sigma_{\text{II}}^t}{n_{\text{II}}} \right], \quad (5.32)$$

де  $\sigma_{\text{T}}^t$ ,  $\sigma_{\text{II}}^t$  - відповідно межі текучості та повзучості за робочої температури, Па;

$n_{\text{II}}$  – запас міцності на межі повзучості,  $n_{\text{II}} = 1,15$ .

Якщо згідно розрахунків виявиться, що жорстке з'єднання корпусу і трубок теплообмінника недопустимо, тоді необхідно використовувати апарати, які мають температурні компенсатори. Частіше всього теплообмінні апарати обладнують лінзовими компенсаторами та компенсаторами типу „плаваюча голівка” (рис. 5. 14).

Температурні напруження будуть тим більшими, чим довші трубки теплообмінника та чим більше різниця температур між кожухом та пучком труб. Вважається, що кожухотрубчасті теплообмінні апарати повинні мати температурні компенсатори, якщо довжина трубок більше 2 м або різниця температур між кожухом та пучком труб буде більше 40<sup>0</sup>С.

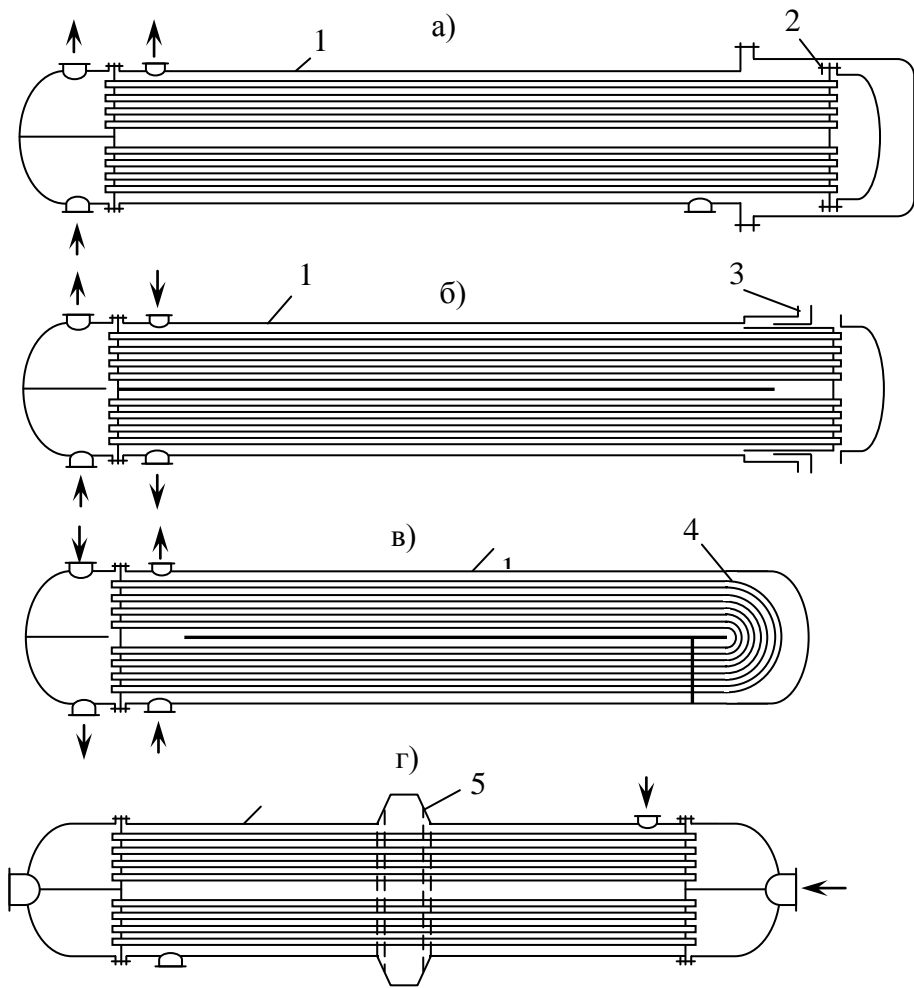


Рисунок 5. 14- Компенсатори трубчастих теплообмінників  
 а – з плаваючою голівкою; б- з сальником; в- з вигнутими тру-  
 бками; г – з лінзою на корпусі;  
 1 – корпус теплообмінника; 2 – плаваюча голівка; 3 – сальник;  
 4 – вигнуті трубки; 5 – лінза



Зниження температурних напружень досягається також шляхом зменшення різниці температур між окремими конструктивними елементами та підбору відповідних матеріалів при конструюванні окремих вузлів апаратів з приблизно однаковими коефіцієнтами лінійного розширення.

**Температурні напруження в товстостінних апаратах.** Товстостінними вважають апарати, у яких відношення зовнішнього діаметра до внутрішнього діаметра дорівнює або більше 1,1. Тонкостінні апарати за всіх умов мають приблизно однакову температуру за товщиною стінки, і тому додаткові температурні напруження в матеріалі не виникають. В товстостінних апаратах, які працюють за підвищеної або зниженої температури, ступінь нагріву внутрішньої і зовнішньої поверхні стінки різний. Температурний перепад по товщині стінки як і неоднаковий нагрів окремих ділянок, і особливо за різкої зміни робочих температур, може викликати небезпечні за величиною температурні напруження. З цієї причини неодноразово виникали пошкодження апаратів та серйозні аварії.

**Приклад аварії.** Так, на одному з хімічних підприємств через місцеві температурні напруження виник розрив колони, призначеної для синтезу ізобутилового спирту. Колона працювала під тиском 32 МПа та за максимальної температури 470<sup>0</sup>С. Колона представляла собою сталеву трубу товщиною 30 мм, кругом якої була намотана чотирма рядами сталевих стрічка. Сумарна товщина стінки становила 126 мм. Незадовго до аварії температура в зоні каталізатора різко підвищилася і протягом 5 хв. перевищувала 600<sup>0</sup>С.

Через деякий час стався розрив корпусу колони. Силою вибуху була зруйнована залізобетонна кабіна. Залізобетонні щитки масою 5 т, які закривали при роботі агрегату монтажний отвір в стіні кабіни, були відкинуті на 140 м. Причиною аварії став значний перепад температур між внутрішньою та зовнішньою стінками колони. За вимогами норм за такого температурного режиму даних колон нормальний температурний перепад не повинен перевищувати 15-20<sup>0</sup>С, а в даному випадку

він склав більше  $45^{\circ}\text{C}$ . Було встановлено, що за такої товщини стінок різниця температур між внутрішньою та зовнішніми поверхнями стінки корпусу в один градус уже викликає напруження стиснення (на внутрішній поверхні) та розтягнення (на зовнішній поверхні) до  $1,8\text{-}2,0$  МПа. Очевидно, що напруження в матеріалі стінки перевищило небезпечну межу.

Температурні напруження на внутрішній  $\sigma_t^B$  та зовнішній  $\sigma_t^3$  поверхнях товстостінного циліндричного апарата з врахуванням реальних умов його роботи можна розрахувати за формулами (при перепаді температур по товщині стінки більше  $10^{\circ}\text{C}$ ):

$$\sigma_t^B = \frac{\alpha \cdot E \cdot (t_B - t_3)}{2 - (1 - \mu)} \cdot \left( \frac{1}{\ln \beta} - \frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1} \right), \quad (5.33)$$

$$\sigma_t^3 = \frac{\alpha \cdot E \cdot (t_B - t_3)}{2 - (1 - \mu)} \cdot \left( \frac{1}{\ln \beta} - \frac{2}{\beta^2 - 1} \right), \quad (5.34)$$

де  $t_B$ ,  $t_3$  – температура на внутрішній та зовнішній поверхнях стінки апарата,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона (поперечної деформації). Коливається в межах для сталі  $0,25\text{-}0,33$ ; міді  $0,31\text{-}0,34$ ; чавуну  $0,23\text{-}0,27$ ; латуні  $0,32\text{-}0,42$ ; алюмінію  $0,32\text{-}0,36$ ;

$\beta = \frac{D_3}{D_B}$  – відношення величини зовнішнього діаметра до внутрішнього діаметра.

За перевірочних розрахунків товстостінних конструкцій температуру зовнішньої та внутрішньої поверхні стінки приймають, виходячи з максимально можливого перепаду температур як в процесі роботи, так і в періоди пуску та зупинки апарата.

**Для запобігання аварій товстостінних апаратів від температурних впливів необхідно:**

- додержуватись заданого температурного режиму роботи;
- використовувати автоматичні регулятори температури;

- влаштовувати реєстраційні прилади з сигнальними пристроями для заміру температури стінок корпуса;
- проводити охолодження внутрішньої поверхні стінок апарата шляхом пропускання холодного циркуляційного газу;
- автоматично контролювати зниження тиску, температурний режим апарата та зупинку всього технологічного процесу;
- захищати зовнішні поверхні товстостінних апаратів та трубопроводів теплоізоляцією;
- нагрівання та охолодження товстостінних апаратів в періоди їх пуску та зупинки проводити повільно;
- не допускати порушення встановленого темпу зміни температури в часі.

### **5.2.2 Дія високих та низьких температур на матеріал апаратів**

Умови здійснення технологічних процесів виробництва часто вимагають використання високих робочих температур. Тривалий вплив високих температур на матеріал, з якого виготовлені технологічні апарати, приводить до появи повільних пластичних деформацій в цих апаратах навіть в тих випадках, коли напруження від робочих навантажень не перевищує межі текучості (за даної температури). Таке явище має назву явища „повзучості”. Особливо істотних змін в умовах тривалої роботи під навантаженням за високої температури зазнають вуглецеві сталі. Леговані та жаростійкі сталі під дією високих температур змінюють свої механічні властивості незначною мірою. Тому при конструюванні апаратів і трубопроводів (в залежності від величини температурного режиму) рекомендується використовувати наступні сталі: за температури від мінус 20<sup>0</sup>С до плюс 425<sup>0</sup>С та тиску до 5 МПа – вуглецеві сталі звичайної якості (ВСтЗсп); за температури від мінус 20<sup>0</sup>С до плюс 475<sup>0</sup>С – вуглецеві сталі для виготовлення казанів (15К, 20К) та сталі підвищеної міцності – низьколеговані (09Г2С, 12МХ); за температури від мінус 60<sup>0</sup>С

до плюс 850<sup>0</sup>С – теплостійкі та жаростійкі леговані сталі з присадками хрому, ванадію, вольфраму або нікелю (20Х5МЛ, 08Х13); за низьких (до мінус 250<sup>0</sup>С) та високих температур (до плюс 1200<sup>0</sup>С) – високолеговані жаростійкі сталі з добавками у великій кількості хрому, нікелю та у невеликій кількості - вольфраму, кремнію (ОХ18Н10Т, 30Х24Н12СЛ).

Але відповідний підбір якості сталі за нормальних робочих температур ще не виключає можливості утворення пошкоджень від температурних впливів. Оскільки вибір металу здійснюють в залежності від нормальної робочої температури, то дія більш високих температур сильно збільшує пластичність металу та його текучість.

Високі температури виникають при порушенні температурного режиму в апаратах, які вимагають нагріву, та при здійсненні екзотермічних реакцій, а також при пожежах, коли апарати і трубопроводи потрапляють в зону вогню або інтенсивного випромінювання від факелів полум'я, нагріваючись при цьому до 800-1000<sup>0</sup> і більше.

Апарати, що попали в зону дії пожежі, нагріваються за законами нестационарної теплопровідності. На тривалість прогріву корпусу апарата значною мірою буде впливати наявність засобів захисту від впливу тепла пожежі.

Надійними засобами захисту апаратів та трубопроводів від надмірного нагрівання при пожежі є наявність справної теплоізоляції корпусу, влаштування екранів, стаціонарних систем охолодження водою або піною, наявність протипожежних розривів тощо.

Умовами для перегріву металів є також утворення коксу на стінках і забруднення теплообмінної поверхні апаратів вогневої дії та з електрообігріванням. Це відбувається в результаті зниження в апаратах рівня рідини, пошкодження захисної футерівки у високотемпературних реакторах, регенераторах тощо. Таке явище називають „прогаром стінки”.

Для запобігання прогару теплообмінної поверхні встановлюють чіткий контроль за температурами теплоносія та продукту, який нагрівають, контролюють швидкість руху речо-

вини, яка нагрівається; очищають продукт, що нагрівається, від механічних домішок, а теплообмінну поверхню – від відкладень твердих речовин.

**Дія низьких температур на матеріал апаратів.** Пошкодження технологічного обладнання може відбутися в результаті впливу не тільки високих температур, але і низьких. За низьких температур працюють холодильні установки (аміачні, пропанові тощо), установки газофракціонування (за температури мінус 30<sup>0</sup>С та нижче), установки з вироблення рідкого повітря, кисню та азоту (за температури мінус 180<sup>0</sup>С і нижче), а також установки, які знаходяться на відкритих майданчиках в зимовий період часу. В цих умовах експлуатації обладнання виникає небезпечне явище холодноламкості сталі, яке пов'язане з падінням ударної в'язкості.

Ударна в'язкість вуглецевих сталей різко падає за зниження температури. Втрата ударної в'язкості може привести до утворення тріщин, а іноді й до повного руйнування апаратів з цих сталей, навіть при дії нормальних робочих навантажень. Схильність сталі до переходу в крихкий стан визначається її хімічним складом, структурою та методом обробки. Найбільший вплив на ударну в'язкість маловуглецевих сталей має вміст вуглецю. Із збільшенням кількості вуглецю та фосфору в сталі крихкість її збільшується. Аналіз пошкоджень апаратів, які мали місце, показав, що майже у всіх випадках мали місце зразу декілька причин: крихкість металу за низьких температур, жорсткість конструкцій (особливо зварних), значні внутрішні перенапруження в окремих вузлах, які виникають під впливом додаткових факторів – перепаду температури, дії вітру, динамічних навантажень тощо.

При експлуатації технологічного обладнання в умовах низьких температур частіше всього спостерігаються випадки пошкодження резервуарів і ємностей з легкозаймистими та горючими рідинами, а також із скрапленими газами, причому майже всі випадки повного руйнування апаратів відбуваються за однією і тією ж схемою: руйнується найбільш навантажений

конструктивний елемент – корпус резервуара, заповнений продуктом. Руйнується він за ламаною лінією на повну висоту стінки, а потім в результаті радіального зусилля, пов'язаного з виливанням великої кількості рідини, корпус відривається від днища і відкидається в сторону. Одночасно дах резервуара обвалюється на днище, яке звичайно залишається на місці або дещо зсувається в сторону.

Крім випадків повного руйнування стінок резервуара, часто бувають випадки утворення тріщин, які порушують герметичність і створюють небезпеку подальшої експлуатації резервуарів. Тріщини в резервуарах виникають, як правило, в найбільш холодні місяці року.

Апарати та трубопроводи, які працюють в умовах низьких температур, чутливі до різного роду динамічних навантажень.

Таким чином, при виготовленні апаратів, ємностей та трубопроводів, які працюють в умовах впливу низьких температур, необхідно приділяти серйозну увагу підбору матеріалу. Як правило, повинні застосовуватися сталі з підвищеною ударною в'язкістю, які мають низьку критичну температуру холодноламкості, зокрема за температури до мінус  $20^{\circ}\text{C}$  – вуглецеві сталі; за температури мінус  $30^{\circ}\text{C}$  – вуглецеві сталі підвищеної якості; за температури до мінус  $40-80^{\circ}\text{C}$  – низьколеговані сталі; за температури до мінус  $250^{\circ}\text{C}$  – високолеговані хромонікелеві сталі. Кольорові метали та сплави до холодноламкості стійкі.

До апаратів, резервуарів, трубопроводів, які виготовлені з сталей із зниженою ударною в'язкістю й експлуатуються в умовах низьких температур, застосовують такі заходи захисту: захищають теплоізоляцією (наприклад, зовнішні ємності зі скрапленими газами), обладнують внутрішнім обігрівом, встановлюють менший ступінь заповнення, рідше проводять операції зливу та наливу.

### 5.3 Профілактика пошкодження технологічного обладнання внаслідок корозії металів та сплавів

Метали та сплави на їх основі є основними конструкційними матеріалами. З них виготовляють найвідповідальніші деталі та механізми технологічного обладнання. Внаслідок взаємодії із зовнішнім середовищем, деталі і механізми втрачають свою довговічність, що спричиняє простій технологічного обладнання, втрату сировини, продукції і дуже часто призводить до аварійних ситуацій з наступними пожежами та вибухами.

Більша частина випадків розгерметизації технологічних систем обумовлена підвищеною швидкістю корозії металу та понад допустимим зносом обладнання і трубопроводів. Це пояснюється великим різноманіттям корозійних середовищ, умов експлуатації, нерівномірністю та характером руйнування, що ускладнюють визначення оптимального строку експлуатації апаратів і трубопроводів. Корозійне руйнування часто носить локальний характер за достатньої міцності усієї конструкції апарата або системи трубопроводів.

**Корозією** (лат. „corrosion” від „corrode” – роз’їдаю, гризу) називають руйнування металевих матеріалів, внаслідок їх фізико-хімічної взаємодії з навколишнім середовищем.

Середовища, в яких руйнуються метали та сплави, називають **агресивними** або **корозійними**.

Прикладом цих середовищ є повітря, розчини солей, лугів, розплави металів, викидні та промислові гази, бензин тощо. Ці середовища можуть розчиняти метали і сплави або утворювати сполуки з ними: оксиди, нітриди тощо. Так, на поверхні виробів, виготовлених зі сплавів на основі заліза (вуглецеві сталі, чавуни), утворюються оксиди у вигляді іржі бурого кольору.

На практиці мають місце випадки, коли на поверхні металів та їх сплавів не утворюються продукти корозійного руйнування, тоді виявити пошкодження цих матеріалів дуже важко.

Корозійні середовища поділяють на електроліти та неелектроліти.

**Середовища-електроліти** проводять електричний струм. До них належать розчини солей, кислот, лугів, морська вода тощо.

**Середовища-неелектроліти** не проводять електричного струму. Прикладом таких середовищ є викидні та промислові гази, спирт, бензин, мастила тощо.

### **5.3.1 Види корозії та корозійного руйнування**

У разі взаємодії корозійних середовищ з металами та сплавами спостерігається кілька видів корозії, які класифікують за такими ознаками, як: механізм взаємодії, умови взаємодії тощо.

**За механізмом взаємодії** зовнішнього середовища з металами і сплавами корозію поділяють на хімічну та електрохімічну.

**Хімічною корозією** називають руйнування виробів, виготовлених з металів та сплавів, у середовищах-неелектролітах.

Прикладом такого виду корозії є руйнування деталей нагрівних печей, казанів, турбін, двигунів внутрішнього згорання, сопел реактивних двигунів тощо. У разі взаємодії газового середовища (пічні та викидні гази) з металевими виробами на їх поверхні утворюються різні хімічні сполуки (наприклад, оксиди, сульфіди тощо) у вигляді плівок.

Чим вища температура середовища, тим інтенсивніше кородує метал, оскільки зростають швидкість дифузії газів через плівку до металу і зустрічна дифузія атомів металу. У разі утворення не дуже щільної та міцної плівки газове середовище може різко прискорити руйнування виробів. Прикладом металів, на поверхні яких утворюється нещільна (крихка) оксидна плівка, є залізо, вуглецеві сталі та чавуни. Вони надзвичайно швидко руйнуються під дією газових середовищ, оскільки їх оксидні плівки неміцні, а в разі незначної зміни температури або навантаження ці плівки відшаровуються. Поверхня виробу „оголюється”, і кисень чи інший газ знову взаємодіє з металом виробу. З часом виріб тоншає, оскільки утворена плівка знову обсипається.



Отже, оксидні плівки, які утворюються на поверхні виробів, виготовлених з вуглецевих сталей і чавунів, не можуть захистити їх від корозійного руйнування. Те саме спостерігається з деталями, приладами та механізмами, виготовленими з ніобію, молібдену, вольфраму, які працюють в атмосфері повітря чи кисню за температур 400-500<sup>0</sup>С.

Якщо на поверхні виробів утворюються міцні та щільні оксидні плівки, то корозійне руйнування сповільнюється. Прикладом таких металів є хром, алюміній та сплави на їх основі. Саме тому на практиці використовують леговані сталі, які витримують дію газових середовищ до 900<sup>0</sup>С, у той час як вуглецеві легко руйнуються за температур понад 500<sup>0</sup>С. Легування сталі хромом, алюмінієм, нікелем підвищує корозостійкість сталей до температури 850-900<sup>0</sup> С.

Рідини-неелектроліти руйнують нафтопроводи й обладнання каталізного і термічного крекінгів нафтопродуктів та інші металеві вироби. Швидкість корозії в рідинах-неелектролітах (спирти, бензин, гас, нафта тощо) невелика, але зростає за наявності в них домішок, особливо сірки та кисню й за підвищення температури середовища. Швидкість корозії чорних металів за наявності вологого хлористого водню становить 5-20 мм/рік, а спільна наявність H<sub>2</sub>S і HCl підсилює корозію в 3-4 рази . Найбільш інтенсивно процеси корозії протікають у конденсаторах-холодильниках, верхній частині ректифікаційних колон, трубопроводах гарячих залишків (мазуту). Наприклад, за даними однієї з нафтових компаній у США, корозія апаратури нафтопереробних заводів від солей, що містяться в емульсійних нафтах, завдає збитків, що становлять 125 млн. доларів у рік.

Рідини неорганічного походження агресивні, тому важливо не помилитись у виборі матеріалу для виготовлення конструкцій або захисного покриття. Так, для рідин із вмістом броду придатне обладнання, виготовлене з танталу, а із вмістом сірки – з алюмінію.

**Електрохімічною корозією** називають руйнування виробів, виготовлених з металів і сплавів у середовищах-електролітах.

Це найпоширеніший вид корозії. Електрохімічна корозія характеризується протіканням електричного струму в електроліті, переходом атомів металу в іонізований стан та іншими електрохімічними процесами. Прикладом електрохімічної корозії є руйнування металевих конструкцій і виробів, які перебувають у середовищі вологого повітря, в морській та річковій воді тощо.

Якщо в контакт з електролітом перебувають два метали, то механізм корозії нагадує роботу гальванічного елемента, в якому метал із меншим електродним потенціалом (анод) безперервно розчиняється, а з більшим (катод) – відновлюється.

Запишемо ряд металів, розміщених у порядку зменшення їх електродних потенціалів (табл.5.2).

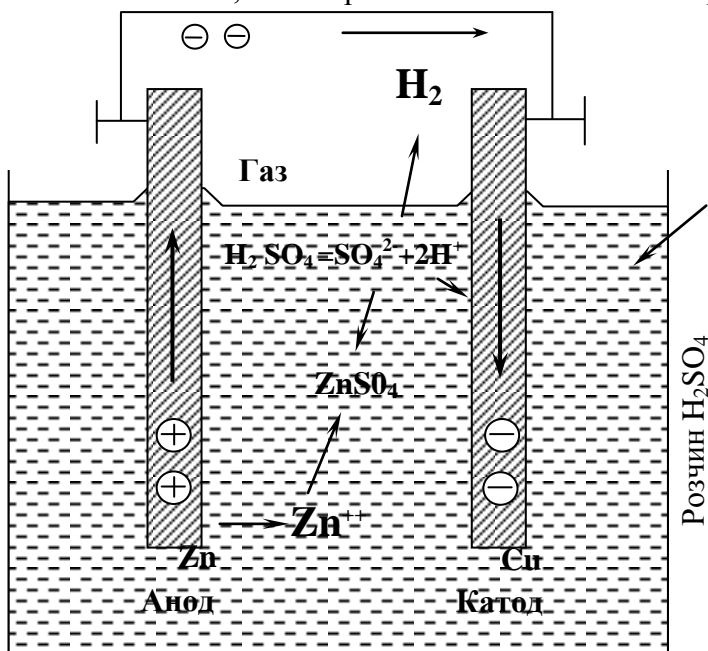
Таблиця 5.2- Електродні потенціали металів

Метал	Au	Pt	Ag	Cu	H	Sn	Ni	Fe	Zn
Електродний потенціал	+1,42	+1,20	+0,80	+0,34	0	- 0,14	- 0,25	- 0,44	- 0,76

Якщо в розчин сірчаної кислоти (середовище-електроліт) помістити пластини, виготовлені з міді та цинку і з'єднати їх зовнішні кінці електричним провідником (рис.5.15), то утвориться гальванічний елемент, в якому мідь, що має більший електродний потенціал (+0,34), ніж цинк (-0,76), не розчиняється, а є лише місцем нейтралізації іонів електроліту. Позитивно заряджені іони цинку ( $Zn^{2+}$ ) перейдуть в електроліт, а електрони потечуть по зовнішньому електричному провіднику до мідної пластинки, де нейтралізують позитивно заряджені іони водню ( $H^+$ ).

Атоми водню з'єднуються в молекули ( $H_2$ ) і у вигляді бульбашок виходять з розчину електроліту. Ця модель дає можливість пояснити причину руйнування поверхні металу, який має неоднорідну будову (різні компоненти, фази,

неметалеві включення, зони з різними залишковими напружен-



нями тощо).

Рисунок 5.15 - Схема процесів, які відбуваються в гальванічному елементі

Процес електрохімічної корозії (утворення гальванічних елементів) також можна простежити на наступній схемі (рис.5.16). Якщо неоднорідний метал (наприклад, залізо плюс включення) помістити в електроліт (наприклад, розчин соляної кислоти), то іони більш активного металу будуть переходити в розчин. Область стінки, поверхня якої є анодом, буде руйнуватися. Негативні іони електроліту (у даному випадку іони хлору) переміщуються в напрямку виділення позитивних іонів металу і при взаємодії з ними утворюють хлористу сіль металу. В той же час позитивні частинки електроліту (водень)

переміщуються до негативно заряджених ділянок стінки, нейтралізуються і утворюють молекулу водню.

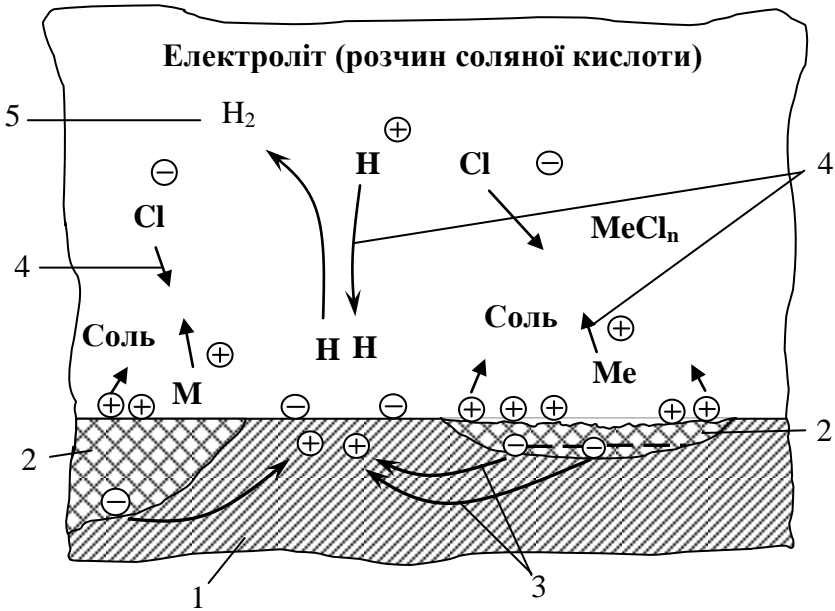


Рисунок 5.16- Схема електрохімічної корозії

1- метал, більш стійкий до корозії; 2 – метал, менш стійкий, який утворює в електроліті анодні ділянки; 3- потік електронів усередині металу; 4- потік іонів в електроліті; 5- нейтральні молекули водню

Отже, поверхня металу - це множина мікроелементів (анодних і катодних ділянок), коротко замкнених через сам метал. Кожна ділянка має певний електродний потенціал.

Робота мікрогальванічних пар починається під час контакту з електролітом: ділянки сплаву з меншим потенціалом (аноди) руйнуються, а з більшим (католи) – залишаються без змін.

Однофазні сплави стійкіші в середовищах-електролітах, ніж багатofазні, але менш стійкі, ніж чисті метали.

Швидкість корозійного руйнування тим більша, чим далі стоять один від одного метали у ряді електродних потенціалів.

При електрохімічному корозійному процесі величина корозійних втрат металу (кількість розчиненого металу), згідно закону Фарадея, пропорційна корозійному струму:

$$\Delta g = \frac{A \cdot I \cdot \tau}{\Phi \cdot n}, \quad (5.35)$$

де  $I$  - корозійний струм, а;

$\Phi$  - стала Фарадея, дорівнює 96500 Кулонам;

$A$  - атомна вага металу;

$n$  - валентність іона металу, що переходить у розчин;

$\tau$  - тривалість корозії.

Виникнення корозійних ділянок обумовлюється не тільки неоднорідністю металу, але і багатьма іншими причинами: неоднаковими деформаціями та напруженнями в різних ділянках, неоднорідністю концентрації електроліту, різними температурами окремих ділянок тощо.

Залежність швидкості розчинення сталі від концентрації різних кислот та від величини температури показана на рис. 5.17 та 5.18. З цих графіків видно, що швидкість розчинення металу в соляній кислоті зростає із збільшенням її концентрації, а в сірчаній та азотній кислотах спочатку спостерігається зростання, а потім зменшення швидкості розчинення. З підвищенням температури швидкість корозії збільшується.

**За умовами взаємодії**, тобто в залежності від умов, в яких працюють машини, агрегати та перебувають металеві конструкції, розрізняють кілька видів корозії: **газову, атмосферну, підземну, біологічну, корозію під дією струмів** тощо.

**Газова корозія** металів та сплавів відбувається в газах за високих температур. Виникає в основному при дії на метали викидних і промислових газів та теплоти, оскільки ці гази завжди нагріті до високих температур.

У разі **атмосферної корозії** агресивним середовищем є сконцентрована на поверхні металевого виробу волога, агресивність якої зростає із збільшенням в ній газів:  $O_2$ ,  $CO_2$ ,

SO<sub>2</sub> тощо. Цей вид корозії найпоширеніший, оскільки близько 80% металовиробів та конструкцій експлуатується і зберігається під „відкритим небом”.

У разі **підземної** (грунтової) **корозії** середовищем, яке руйнує металеві конструкції (труби, кабелі та інші підземні комунікації), є ґрунтова волога. Швидкість корозії зростає в торф'янистих і болотистих ґрунтах.

Наявність мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності руйнує навіть захисні покриття конструкцій.

Вивчення морських глибин, добування нафти з дна морів, створення потужного надводного та підводного морського флоту призводять до великих втрат металів у дуже агресивному середовищі, яким є морська вода. Вода, крім хлоридів металів, містить кисень та інші речовин, які спричиняють корозію.

Великих втрат завдає корозія під дією блукаючих струмів. Особливо небезпечним є постійний струм. Спостерігається цей вид корозії навколо трамвайних ліній і ліній електропоїздів. Під час руху трамваїв та електропоїздів частина електричного струму проникає в ґрунт, доходить до труб, якими транспортують нафту, воду, газ, та інших підземних металевих конструкцій, анодні ділянки яких руйнуються. Це дуже небезпечний вид корозії: струм силою 1 А за рік „з'їдає” 9 кг заліза, 3 кг алюмінію, 11 кг цинку і міді, 34 кг свинцю. Радіус дії цього виду корозії досягає десятків кілометрів.

**Види корозійного руйнування.** Корозійне руйнування металів і сплавів починається з поверхні, тобто на межі металевий виріб – середовище, і поступово поширюється в глибину металу.

Найпоширеніші види корозійного руйнування металів і сплавів – суцільне, місцеве (рис. 5.19).

При **суцільному руйнуванні** середовище взаємодіє з металевими виробами по всій поверхні, але з різною швидкістю. Саме тому цей вид руйнування поділяють на рівномірне руйнування та нерівномірне. У разі **рівномірного** руйнування (рис.5.19.1) швидкість взаємодії середовища з металом однакова, а в разі **нерівномірного** – різна на різних ділянках поверхні

виробів. Відповідно середовище поширюється в глибину металу на однакову або різні відстані.

**Місцеве руйнування** – руйнування, за яким середовище взаємодіє з металами на окремих ділянках поверхні виробів.

Місцеве руйнування поділяють на плямисте, виразкове, точкове, підповерхневе, вибірккове, міжкристалітне, транскристалітне тощо.

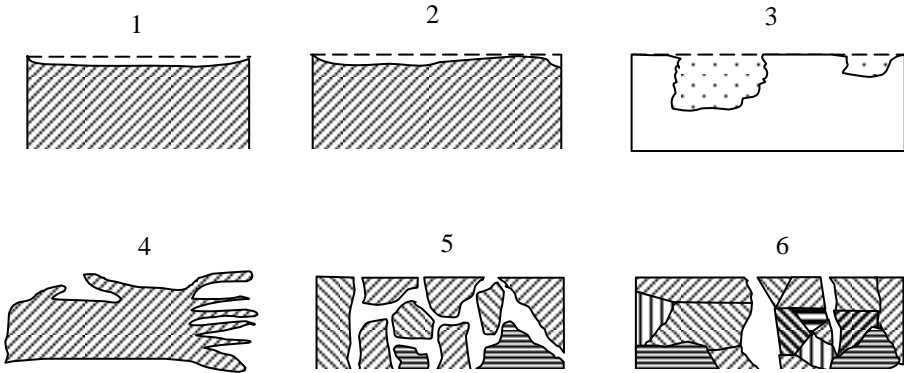


Рисунок 5.19 - Види корозійного руйнування

1- рівномірне; 2- плямисте; 3- виразкове; 4- підповерхневе; 5- міжкристалітне; 6-транскристалітне

**Плямисте руйнування** (рис.5.19.2) спостерігається на виробах, виготовлених з латуні, які перебували в морській воді. На поверхні латунних виробів утворюються плями. Глибина плям невелика.

Якщо середовище проникає на велику глибину, то кажуть, що має місце **виразкове руйнування** (рис.5.19.3). Так руйнується сталь, вироби з якої довгий час перебували у ґрунті.

**Точкове руйнування** характеризується утворенням вузьких кратероподібних (аж до наскрізних) заглиблень. Цей вид руйнування спостерігається на поверхні виробів, виготовлених із нержавіючої сталі, після дії на них морської води.

**Підповерхневе руйнування** (рис.5.19.4) спостерігається тоді, коли вироби покриті лаком, фарбою тощо. Продукти корозійного руйнування не можуть виноситися в середовище,

оскільки поверхня виробу покрита покриттям. Це спричиняє здуття покриття та розшарування металу.

Суть **вибіркового руйнування** полягає в тому, що середовище взаємодіє з певними хімічними елементами або фазами матеріалів, з яких виготовлені вироби. Так, у сірих чавунах руйнується ферит і перліт, а графітовий каркас залишається; у латунях середовище взаємодіє із цинком і приповерхневий шар латунних виробів складається з губчастої міді.

**Міжкристалітне руйнування** (рис.5.19.5). Середовище взаємодіє спочатку з домішками, які перебувають на межах кристалів, а потім приступає до розчинення металів. Це дуже небезпечний вид руйнування, який може спричинити раптову аварію. Це саме стосується також транскристалітного руйнування (рис.5.19.6).

### 5.3.2 Способи захисту металів і сплавів від корозії

Проблемою захисту металів і сплавів від корозії вчені займаються давно. Проте й досі вона є і залишається актуальною; з'являються нові корозійні середовища, а також нові конструкційні матеріали.

Найпоширенішими способами захисту металів і сплавів від корозії є легування (створення сплавів з антикорозійними властивостями), захисні покриття (металеві, дифузійні, неметалеві), використання інгібіторів тощо.

Вибір того чи іншого способу захисту визначається умовами експлуатації деталей, механізмів, приладів технологічного обладнання.

**Легування.** Технологічне обладнання, виготовлене з вуглецевих сплавів (чавунів, сталей), має малу корозостійкість в агресивних середовищах. Щоб збільшити корозостійкість цих конструкційних матеріалів, їх легують хромом, нікелем, титаном та іншими хімічними елементами. На поверхні виробів, виготовлених з легованих сталей, утворюються щільні оксидні плівки, які захищають вироби від руйнування. До таких сталей належать хромисті та хромонікелеві.



Щоб запобігти появі міжкристалітного руйнування, до складу сталі додають титан. Хромонікелеві сталі більш корозостійкі, ніж хромисті. Їх широко використовують у хімічній промисловості. Хромонікелеві сталі, які містять 17% хрому та 9% нікелю, є корозостійкими на повітрі, в киплячих розчинах азотної та фосфорної кислот.

**Нанесення антикорозійних покриттів.** Легування є дорогим способом захисту металевих виробів від дії агресивних середовищ, оскільки дуже часто металеві вироби мають великі розміри, а легуючі елементи дорогі. Саме тому наносити покриття на поверхні металевих виробів економічно вигідніше.

Покриття є **металеві, дифузійні і неметалеві.**

Для захисту виробів **металевими покриттями** вибирають такі метали, які мають велику корозостійкість у середовищі. Покриття наносять на поверхні виробів тонким шаром різними способами: з розплавів, електрохімічним (електролізним) способом, розпиленням, плазмовим запиленням тощо.

За механізмом захисної дії металеві покриття поділяють на **катодні й анодні.**

**Катодні покриття** наносять з металів, які мають більший електродний потенціал у даному середовищі, ніж основний метал. Проте незначне порушення суцільності покриття (риски, тріщини, пори тощо) роблять його навіть шкідливим. У місця порушення суцільності покриття проникає агресивне середовище і утворюється гальванічна пара, в якій метал виробу виконує роль анода й швидко руйнується, наприклад, олов'яне покриття на поверхні виробу, виготовленого з вуглецевої сталі (рис.5.20 а). Крім олова, використовують мідь, нікель та інші метали.

Суть захисту металевих виробів **анодним покриттям** полягає в тому, що в середовищі саме покриття руйнується (рис. 5.20 б). Поверхню виробів покривають металами, які мають великий від'ємний електродний потенціал. У разі пошкодження покриття виникають гальванічні пари, в яких метал виробу виконує роль катода й не руйнується. Наприклад, для

залізовуглецевих сталей такими покриттями є кадмієве, цинкове. Цинкові покриття широко використовують для захисту труб, резервуарів від дії води та гарячих рідин.

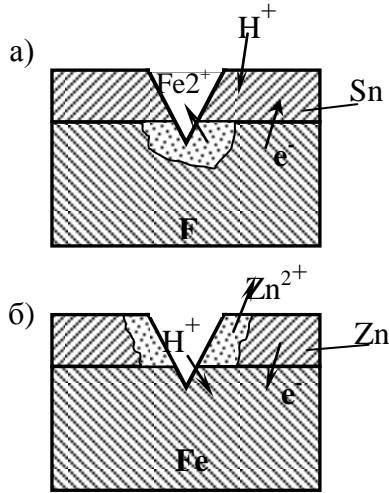


Рисунок 5. 20 – Схема корозійного руйнування покриття а – олов'яного (катодного); б – цинкового (анодного)

**Дифузійні покриття** дорожчі, ніж металеві, оскільки технологія їх нанесення складніша. Ці покриття використовують для захисту металевих виробів від дії агресивних середовищ, нагрітих до високих температур (наприклад, нагрівні елементи в електричних печах, газові турбіни тощо).

Найпростішим і відносно дешевим захистом металевих виробів від дії агресивних середовищ є нанесення **неметалевих покриттів**, які поділяються на органічні та неорганічні покриття.

До органічних покриттів відносяться різні мінеральні мастила, вазелін, розчини парафінів, бітумів, лаки, фарби, смоли тощо. Порівняно з іншими видами покриттів, їх легко наносити на поверхні виробів зануренням, розпиленням або за допомогою помазка. Лакофарбові покриття наносять звичайно в декілька шарів. Смоли наносять рідкими в нагрітому стані. Так наносять, наприклад, епоксидні та кремнійорганічні смоли. Покриття смолами здійснюється також за допомогою газополум'яного запилення

(поліетилен, фторопласт), а також за допомогою футерівки листовим матеріалом (вінілпласт), гумою та ебонітом, що мають високу стійкість до агресивних середовищ.

До неорганічних покриттів відносяться: цементні та бетонні покриття, що застосовуються для захисту від корозії металевих конструкцій (трубопроводів, резервуарів), силікатні емалі тощо.

Неметалеві покриття міцно зчеплені з поверхнею виробів, є корозостійкими і добрими електроізоляторами. Майже 90% усіх металевих виробів захищають від корозії за допомогою саме цих покриттів.

**Зменшення агресивності середовища.** Суть цього методу полягає у видаленні деяких реагентів, що наявні в навколишньому середовищі і викликають корозію, або в добавленні спеціальних речовин, які сповільнюють корозійні процеси. Такі речовини називаються **інгібіторами** (від лат. „inhibeo” – сповільнюю, зупиняю). Оскільки електрохімічна корозія є результатом двох взаємопов’язаних процесів – анодного та катодного, речовини, що добавляються, можуть сповільнювати процеси корозії, діючи на анодні та катодні реакції, а також одночасно на обидві.

Інгібітори, які діють вибірково, поділяють на анодні та катодні.

До **анодних** належать інгібітори, які мають окислювальні властивості (хромати, нітриди тощо) й утворюють на поверхні металу пасивні, переважно оксидні, плівки товщиною близько 0,01 мкм.

**Катодні** інгібітори гальмують корозійне руйнування, скорочуючи кількість катодних ділянок, або поглинають кисень, який перебуває в розчині.

Інгібітори застосовують для захисту металів і сплавів тільки в нейтральних і лужних середовищах.

Для захисту від дії атмосфери використовують легкі сповільнювачі, наприклад аміни. Їх вносять в атмосферу розпиленням або замочуванням паперу. Таким папером обгортають металеві вироби.

Інгібітори не універсальні, вони можуть захистити лише певні групи металів. Проте відомі інгібітори, які захищають як чорні, так і кольорові метали та сплави на їх основі. До них належить хроматдициклогексиламоній.

У розчинах з високою електропровідністю (наприклад, в морській воді) використовується електрохімічний захист від корозії. Цей спосіб захисту здійснюється за допомогою струму, що підводиться ззовні (**катодний захист**), або за допомогою приєднання до конструкції металу, який має більш від'ємний потенціал (**протекторний захист**).

**Установки катодного захисту** дозволяють створити різницю потенціалів між спорудою, яка захищається, та ґрунтом, за яким вся металева споруда стає катодом. Для виникнення різниці потенціалів від'ємний полюс джерела постійного струму сполучають із спорудою, що захищається, а позитивний через електроди-заземлювачі (анодне заземлення) - з ґрунтом (рис.5.21).

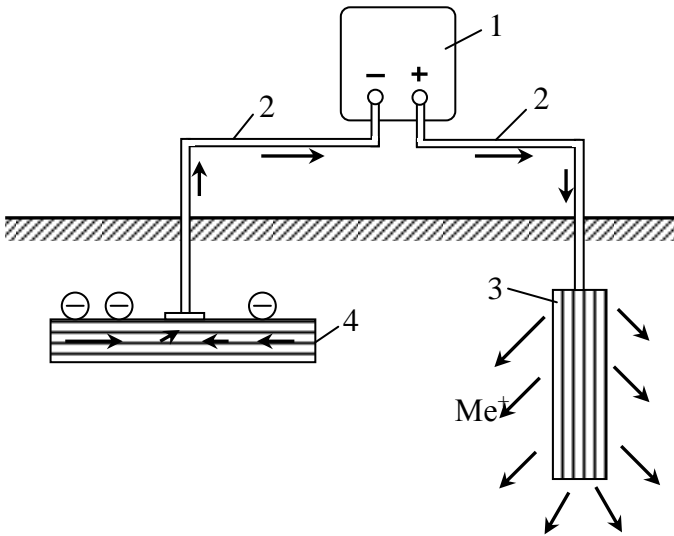


Рисунок 5.21 – Схема установки катодного захисту:

1 - джерело струму; 2- провід; 3- анодне заземлення; 4 – об'єкт, що захищається (труба)

Таким чином, вся поверхня металевої підземної споруди стає катодною і захищеною від корозійного руйнування. Для живлення установки катодного захисту може бути використане будь-яке джерело постійного струму. За умов якісної бітумної ізоляції поверхні ділянки, що захищається, одна катодна установка може захистити трубопровід протяжністю від 10 до 20 км або 5-10 резервуарів ємністю від 5 до 10 тис.м<sup>3</sup> кожний.

Завдяки високій ефективності, економічності (напряга джерела струму приймається в межах 6-12 В, а густина захисного струму - від 2 до 20 мА на 1 м<sup>2</sup> поверхні) катодний захист широко використовується, особливо для захисту від корозії магістральних газопроводів та нафтопроводів.

**Протекторний захист** повністю зберігає принцип катодного захисту, але в ньому відсутнє зовнішнє джерело електричного струму, що забезпечує його вибухобезпеку.

При протекторному захисті струм, необхідний для захисту, одержується в результаті створення штучних гальванічних пар, в яких катодом є метал, що захищається, а анодом спеціальний метал: цинк, магній, алюміній (рис.5.22). Наприклад, для захисту сталі в контакт з металевою конструкцією закріплюють цинкову пластину.

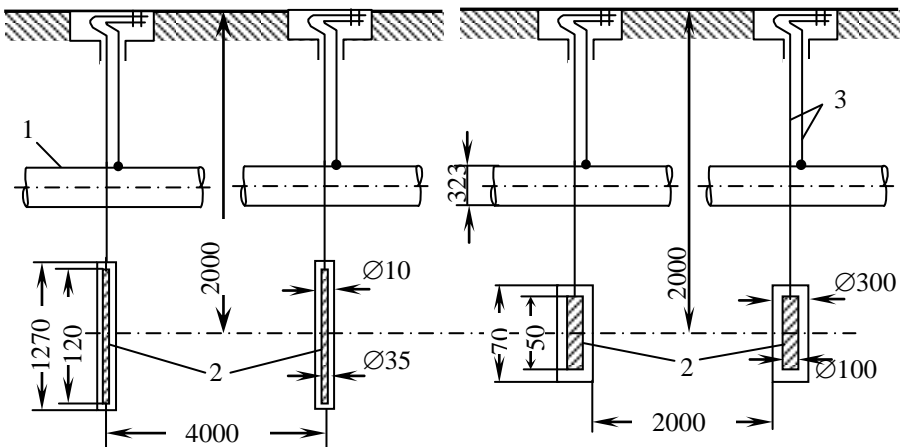


Рисунок 5.22 - Протекторний захист підземного трубопроводу  
1 – трубопровід; 2 – автономні аноди (протектори); 3- з'єднувальні провідники

Метали, які використовуються в якості анодів, повинні бути дуже чистими, оскільки навіть незначна кількість домішок різко знижує їх захисну дію. Автономні аноди виготовляються різних форм (у виді пластин, стрижнів, труб тощо) і розміщуються на відстані від 1 до 5 м до об'єкту, який захищається. Таким чином, головним і основним протипожежним способом захисту об'єктів та технологій є виявлення та попередження можливих причин пошкоджень і аварій технологічного обладнання.

### **Контрольні питання:**

1. Класифікація причин пошкодження технологічного обладнання.
2. Назвати причини підвищення тиску в апаратах.
3. Що таке порушення матеріального балансу для апаратів, за яких причин воно виникає і до яких наслідків може привести?
4. Причини та умови утворення в апаратах і трубопроводах полімерних, льодяних і кристалогідратних пробок. Заходи, що знижують цю небезпеку.
5. В чому полягає захист апаратів від переповнення?
6. Причини попадання низько киплячих рідин до високонагрітих апаратів. Заходи профілактики.
7. Розрахункове визначення приросту тиску у високонагрітому апараті при попаданні до нього рідини з низькою температурою кипіння.
8. Розрахункове визначення приросту тиску за умов порушення процесу конденсації парів.
9. Основні пожежно-профілактичні заходи, що зменшують можливість утворення підвищених тисків.
10. Види динамічних впливів на апарати та трубопроводи, в чому їх небезпека?
11. Як визначити тиск при гідравлічному ударі в трубопроводі? Навести формулу.
12. Основні заходи, що запобігають утворенню динамічних впливів на апарати та трубопроводи.

13. Запобіжні клапани, класифікація, влаштування та принцип дії.

14. Написати та пояснити формулу для визначення пропускної спроможності запобіжного клапана.

15. Ерозія матеріалу апаратів та трубопроводів. Види ерозії та небезпека її виникнення.

16. Причини появи температурних перенапружень в матеріалі апаратів та трубопроводів.

17. Як визначити температурні напруження для жорстко закріпленої конструкції апаратів та трубопроводів?

18. Температурні компенсатори. Принцип їх роботи.

19. В чому полягає небезпека впливу високих температур на матеріал апаратів? Заходи, що зменшують небезпечний вплив високих температур на стінки апаратів.

20. Причини пошкодження апаратів від впливу низьких температур. Заходи, що зменшують цю небезпеку.

21. Види корозії. Сутність кисневої, сірчаної та водневої корозії металів.

22. Сутність електрохімічної корозії металів.

23. Види корозійного руйнування.

24. Способи захисту металів від хімічної та електрохімічної корозії.

25. Сутність і схеми установок катодного та протекторного захисту споруд.

## ГЛАВА 6. ВИРОБНИЧІ ДЖЕРЕЛА ЗАПАЛЮВАННЯ

Одночасна поява в просторі трьох чинників - горючої речовини, окисника і джерела запалювання - може призвести при певних кількісних співвідношеннях до виникнення і розвитку пожежі. Основний принцип запобігання пожежі, тобто основний принцип пожежної профілактики, полягає в усуненні або хоча б у роз'єднанні за часом з іншими одного з зазначених чинників.

На багатьох виробництвах, де обертаються горючі речовини в атмосфері окислювача (повітря), горюче середовище (ГС) присутнє постійно, і саме пожежонебезпечні джерела тепла є тим єдиним чинником, що може і повинен бути усунутий. Звідси важливість для пожежної профілактики вивчення умов і причин появи пожежонебезпечних джерел тепла.

Джерела тепла за своєю природою виникнення дуже різноманітні. Знання теоретичних основ виникнення горіння може допомогти в розробці заходів, що сприяють запобіганню виникнення пожежі, а також у точній оцінці пожежної небезпеки того або іншого технологічного процесу.

Які джерела тепла можна віднести до пожежонебезпечних, тобто до джерел запалювання? І що таке джерело запалювання? Як трактується поняття джерела запалювання?

Відповідно до ДСТУ 2272-93 джерелом запалювання (ДЗ) вважається теплова енергія, що призводить до загоряння. Іншими словами, ДЗ може бути таке нагріте тіло (при вимушеному запалюванні) або такий екзотермічний процес, що здатні нагріти деякий об'єм горючої суміші до певної температури, коли швидкість тепловиділення (за рахунок реакції в горючій суміші) дорівнює або перевищує швидкість тепловідведення із зони реакції. Причому потужність і тривалість теплової дії джерела повинні забезпечувати підтримку критичних умов на протязі часу, необхідного для розвитку реакції з формуванням фронту полум'я, здатного до подальшого довільного поширення.

Джерела запалювання, що зустрічаються в умовах виробництва, дуже різноманітні за причинами появи, за своєю



природою, а також за своїми параметрами. Слід зазначити, що запалюючу спроможність точкового джерела тепла оцінюють спрощено - шляхом порівняння температури, тепловмісту і часу його теплової дії з відповідними характеристиками горючої суміші. Отже, нагріте тіло може бути джерелом запалювання для даної горючої речовини в тому випадку, якщо: а) температура тіла вище температури самоспалахування оточуючого його горючого середовища; б) кількості тепла, яке може віддати нагріте тіло при охолодженні його від початкової температури до температури самоспалахування горючого середовища, досить для нагрівання горючої речовини до запалювання; в) тривалість дії джерела запалювання не менше періоду індукції горючого середовища. Тривалість дії джерела запалювання визначається часом від початку зіткнення його з горючим середовищем до того періоду, коли температура тіла знизиться до температури самоспалахування горючої речовини.

Причиною запалювання горючих речовин можуть служити джерела тепла, необхідні для здійснення технологічного процесу, тобто вогневі печі, реактори вогневої дії, електронагрівальні пристрої, електрична дуга і полум'я на електро- та газозварювальних постах, двигуни внутрішнього згоряння і т.д. Встановити наявність зазначених джерел запалювання не становить труднощів. Але найчастіше пожежі виникають від таких джерел запалювання, наявність яких не пов'язана з нормальним функціонуванням виробництва. Такі джерела запалювання виявити значно складніше. Більшість зазначених джерел запалювання утворюється в результаті порушення протипожежного режиму обслуговуючим персоналом, а також ремонтними і монтажними бригадами через порушення встановлених параметрів технологічного регламенту; при несправностях і аваріях виробничих апаратів.

Для полегшення процесу виявлення і вивчення все різноманіття джерел запалювання, виходячи з природи їхньої появи (утворення), можна розділити на наступні групи: відкритий вогонь, розпечені продукти горіння і нагріті ними поверхні, теплові прояви механічної енергії, теплові прояви

електричної енергії, теплові прояви хімічних реакцій (з цієї групи в самостійну виділений відкритий вогонь і продукти горіння).

### **6.1 Відкритий вогонь, розжарені продукти горіння та нагріті ними поверхні**

Пожежі, викликані відкритим вогнем, достатньо часто явище. Це пояснюється не тільки тим, що відкритий вогонь широко використовують для виробничих цілей, при аварійних і ремонтних роботах, і тому нерідко створюються умови для випадкового контакту полум'я з горючим середовищем, але і тим, що температура полум'я, а також кількість тепла, що виділяється при цьому, достатні для запалювання майже всіх горючих речовин. В умовах виробництва можуть бути постійно або періодично діючі вогневі печі, реактори, смолоскипи для спалювання парів та газів, при проведенні ремонтних робіт часто використовують полум'я пальників і паяльних ламп, застосовують смолоскипи для відігрівання замерзлих труб, багаття для прогріву ґрунту або спалювання відходів, спостерігаються випадки паління в тих місцях, де воно не допускається і т.д. Пожежеонебезпечні параметри деяких видів полум'я та малокалорійних джерел тепла наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Пожежеонебезпечні параметри деяких видів полум'я та малокалорійних джерел тепла

Найменування речовини, що горить (виробу) або пожежеонебезпечної ситуації	Температура полум'я (тління, нагріву) $t_{дз}$ , °С	Час горіння (тління), хв.
Легкозаймисті та горючі рідини	880	
Деревина та лісопиломатеріали	1000	
Природні та скраплені гази	1200	
Газове зварювання металу	3150	
Газове різання металу	1350	
Цигарка, що тліє	320-410	2-2,5

Сигарета, що тліє	420-460	26-30
Сірник, що горить	620-640	0,33

Відкрите полум'я небезпечне не тільки при безпосередньому контакті з горючим середовищем, але і при його опроміненні.

Критичні значення інтенсивності опромінювання в залежності від часу опромінювання для деяких речовин наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Критичні значення інтенсивності опромінювання в залежності від часу опромінювання для деяких речовин

Матеріали	Мінімальна інтенсивність опромінювання (Вт/м <sup>2</sup> ) при терміні опромінювання, хв.		
	3	5	15
Деревина (сосна вологістю 12%)	18800	16900	13900
Деревинно-стружечна плита	13900	11900	8300
Торф у брикетах	31500	24400	13200
Торф у кусках	16600	14350	9800
Бавовна-волокно	11000	9700	7500
Шаруватий пластик	21600	19100	15400
Склопластик	19400	18600	17400
Пергамент	22000	19750	17400
Гума	22600	19200	14800
Вугілля		35000	35000

### 6.1.1 Печі з вогневим обігрівом. Заводські смолоскипи

Печі та реактори з вогневим обігрівом характеризуються наявністю палаючого палива, високонагрітої теплообмінної поверхні і розжарених конструктивних елементів топки. Температура печі залежить від виду і кількості палива, що спалюється, а також від умов його горіння. Якщо не враховувати можливі процеси дисоціації, то теоретична температура горіння речовини буде визначена за формулою:

$$t_T = \frac{Q_H}{\sum g \cdot c_t}, \quad (6.1)$$

де  $t_T$  - теоретична температура горіння, град;

$Q_H$  - теплота горіння палива, нижча, ккал/кг;

$g$  - вага або об'єм компонентів, що входять до складу продуктів горіння, кг або м<sup>3</sup> на кг палива;

$c_t$  - питома теплоємність продуктів горіння, ккал/кг·град, або ккал/м·град.

Теоретична температура горіння речовин достатньо висока, найчастіше вона перевищує 2000 °С.

Дійсна температура горіння значно нижче теоретичної. Це пояснюється і дисоціацією молекул і тим, що деяка частина тепла, що виділяється при горінні речовин, витрачається на випромінювання (пряма віддача тепла) і на інші види тепловтрат.

Зменшення теоретичної температури горіння за рахунок прямої віддачі тепла випромінюванням враховують коефіцієнтом прямої віддачі:

$$\varepsilon = \frac{Q_L}{Q_H}, \quad (6.2)$$

де  $\varepsilon$  - коефіцієнт прямої віддачі;

$Q_L$  - кількість тепла, переданого випромінюванням до приймаючої поверхні, ккал/кг.

Практично значення коефіцієнта прямої віддачі приймають у межах до 0,6. Дійсна температура горіння при відомому значенні коефіцієнта прямої віддачі може бути визначена за різницею ентальпії продуктів горіння при теоретичній і дійсній температурах горіння, тобто:

$$\sum g c_{t_T} t_t - \sum g c_{t_D} t_D = \varepsilon Q_T. \quad (6.3)$$

Прийнявши умовно, що теплоємності продуктів горіння при температурах  $t_D$  і  $t_T$  будуть рівні (тобто  $C_{t_T} = C_{t_D}$ ), з формули після перетворення одержимо:

$$t_D = t_T (1 - \varepsilon), \quad (6.4)$$

Враховуючи коефіцієнтом корисної дії хімічну і механічну неповноту згоряння палива, а також тепловтрати в навколишнє середовище, одержимо:

$$t_D = \eta (1 - \varepsilon). \quad (6.5)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії, прийнятий рівним 0,9 – 0,95.

Так, при спалюванні газоподібних речовин дійсна температура горіння коливається в межах 1200 – 1400°C, рідин 1100 – 1300°C, пилів та інших твердих речовин 1000 – 1200°C. За такою температури апаратів вогневої дії можливі всякі ушкодження й аварії суміжних апаратів, що супроводжуються викидом назовні горючих рідин, парів або газів і поширенням їх в бік печей, неминуче приведуть до виникнення спалаху і пожежі. Не зупиняючись докладно на характеристиці цих добре відомих джерел запалювання, вкажемо на деякі специфічні вимоги пожежної безпеки.

Одним з напрямків протипожежного захисту є ізоляція апаратів вогневої дії від можливого зіткнення з ними горючих парів і газів при аваріях і ушкодженнях сусідніх апаратів. Тому при проектуванні установок вогневі апарати прагнуть ізолювати, розміщаючи їх у закритих приміщеннях, окремо від інших апаратів. На відкритих площадках між апаратами вогневої дії і суміжними відкритими пожежовибухонебезпечними установками (наприклад, відкриті етажерки) доцільно

розміщати закриті будинки, що будуть виконувати роль захисних екранів.

Апарати вогневої дії розміщують на площадках з дотриманням протипожежних розривів, величина яких залежить від характеру і режиму роботи суміжних апаратів і споруд. Так, на підприємствах хімічної промисловості відстань від вогневих апаратів до технологічного устаткування з робочим тиском до 0,7 атм., від 0,7 до 6 і понад 6 атм. повинна бути відповідно не менше 10, 15 і 20 м. На підприємствах нафтопереробної і нафтохімічної промисловості від не вогневої сторони печей і апаратів вогневого нагрівання до апаратів колонного і ємнісного типу, теплообмінників і конденсаторів ширину розривів приймають 10 м, а з боку форсунок і пальників до суміжних апаратів 15 м. Такі порівняно невеликі розриви, природно, не можуть бути достатньою перешкодою від газової хвилі при ушкодженнях і аваріях сусідніх апаратів.

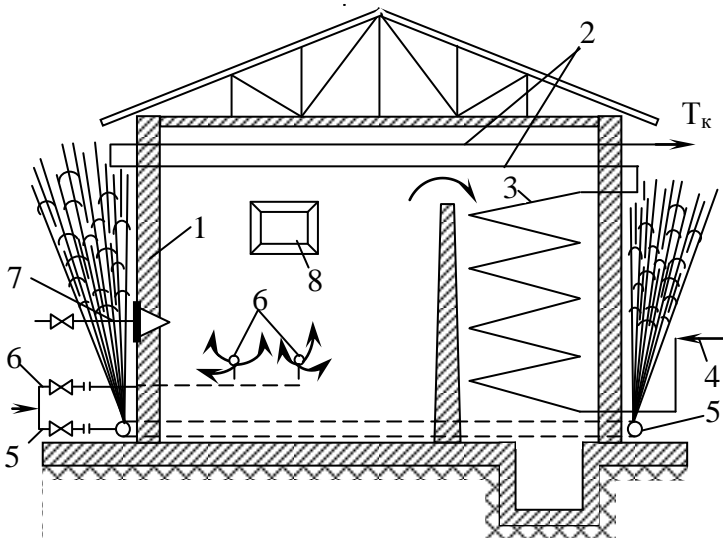


Рисунок 6.1 - Вогнева трубчаста піч з паропроводом для внутрішнього пожежогашіння і для створення парової завіси  
1 - корпус печі; 2 - радіантні труби; 3 - конвекційні труби; 4 - подача сировини у змійовику; 5 - система подачі водяної

пари для створення завіси навколо печі; 6 - система подачі водяної пари для цілей парогасіння; 7 - пальники печі; 8 - запобіжні шарнірно-відкидні дверцята

Навіть якщо в момент аварії швидко згасити форсунки і пальники топок, то пари і гази, рухаючись в напрямку печей, можуть запалюватися, стикаючись з розпеченими кладкою і металевими деталями. Тому для додаткової ізоляції печей і вогневих реакторів навколо них прокладають кільце з перфорованих труб (рис. 6.1) для створення парової завіси при небезпеці поширення газової хвилі в їхню сторону.

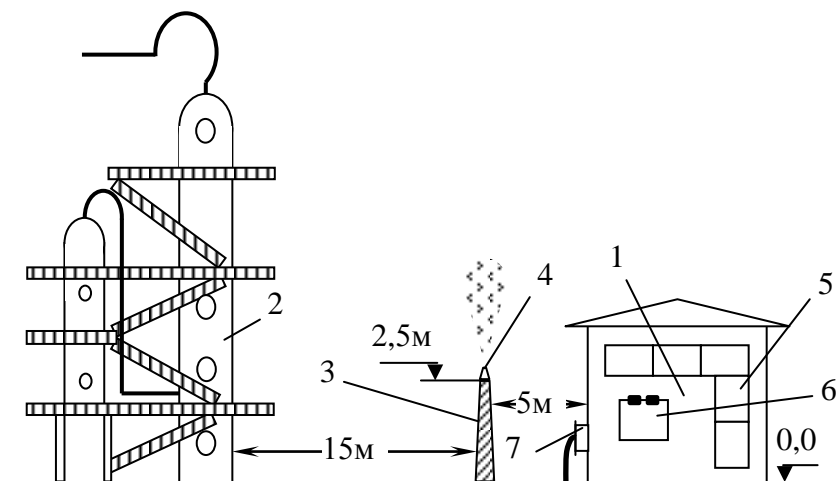


Рисунок 6.2 - Глуха стіна (екран) між вогневою піччю і колонами

1 - вогнева піч; 2 - колони; 3 - глуха стіна (екран) з боку пальників; 4 - труба для створення парової завіси; 5 - дверцята двійникових шахт; 6 - протививбухові шарнірно-відкидні дверцята; 7 – пальники

Пуск пари для створення завіси може бути здійснений вручну або автоматично від газоаналізаторів СГГ-2М або СВК-3, датчики яких розміщують поблизу печей так, щоб з появою

небезпечної концентрації (20% від  $\varphi_{\text{нмз}}$ ) був вчасно виданий сигнал і відкриті засувки на паровій лінії.

Коли вогнева піч розміщена пальниками в бік апаратів зі зрідженими газами або легколетючими рідинами, між ними влаштовують глуху стіну висотою 2 – 2,5 м і зверху неї прокладають трубу для створення парової завіси (рис. 6.2). Для безпечного розпалення печей використовують електрозапальники (рис. 6.3) або спеціальні газові запальники (рис. 6.4). У процесі експлуатації печей стежать за станом кладки, дотриманням установленого режиму обігріву, не допускають забруднення рідким паливом площадки перед форсунками.

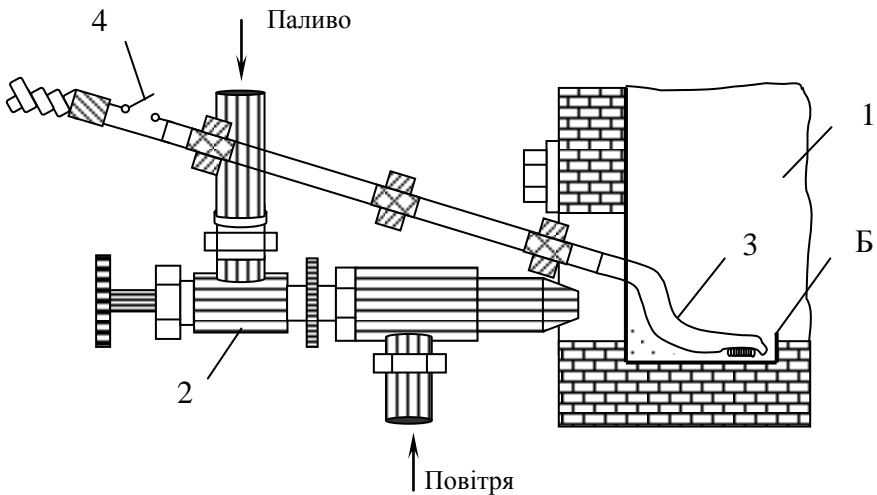


Рисунок 6.3 - Пристрій для запалювання форсунок електронагрівальною спіраллю

1 - топка; 2 - форсунка; 3 - електронагрівальна спіраль;  
4 - рубильник; 5 - піддон для палива

У нафтопереробній, нафтохімічній і хімічній промисловості дотепер широко застосовують факельні установки для спалювання газових викидів у виді побічних продуктів, використання яких недоцільно, а також газів, що ви-



ходять у періоди налагодження виробництв, при аварійних зупинках апаратів і т.п. Факельні установки можуть бути постійної і періодичної дії.

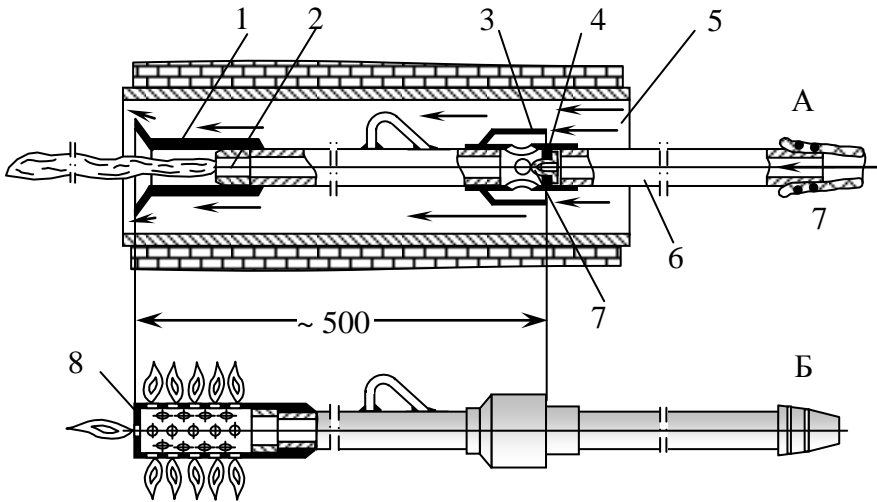


Рисунок 6.4 - Переносний газовий інжекційний запальник

А – однофакельний; Б – багатофакельний; 1 - захисний кожух; 2 – сопло; 3 – обойма; 4 – інжектор; 5 - отвір у топці; 6 - труба з рукояткою; 7 - отвір для надходження газу в змішувальну камеру інжектора; 8 - вогнева насадка

Неправильне улаштування факельних установок може привести до теплового впливу факелу полум'я на розташовані поблизу будинки, споруди та апарати з горючими газами і рідинами, до небезпеки загоряння локальних скупчень парів та газів у повітрі, до можливості іскроутворення, а також до загазовування території при раптовому згасанні факелу. Факели загальнозаводські або загальноцехові менш небезпечні, ніж факели безпосередньо на апаратах, тому що мають висоту вертикального стовпа не менше 25 м і розміщені на відстані 60 – 100 м від вибухо- і пожежонебезпечних будинків і споруд, а також не ближче 150 м від проміжних складів зрідженого газу. Територія навколо стовпа факелу в радіусі 25 – 50 м відгороджується.

Факели розміщують з урахуванням переважного напрямку вітрів, тому що може бути розліт іскор, а також переміщення факела полум'я в горизонтальному напрямку під дією вітру.

На рис. 6.5 показана схема факельної установки, що складається із системи підводних трубопроводів, запобіжних пристроїв (вогнеперешкоджувача) і власне факельного пальника. Конструкція факельного пальника повинна забезпечувати безперервність спалювання газу, що подається, шляхом влаштування легкозапалюваного і захищеного від вітру «маяка» (постійно палаючого пальника). Підпалювання газової суміші в черговому пальнику роблять за допомогою так званого "полум'я, що біжить", (попередньо підготовлена горюча суміш запалюється електрозапалом і полум'я, переміщуючись вгору, підпалює газ пальника). Щоб зменшити утворення диму й іскор, до факельного пальника підводять водяну пару (конструкція факельного пальника показана на рис. 6.6).

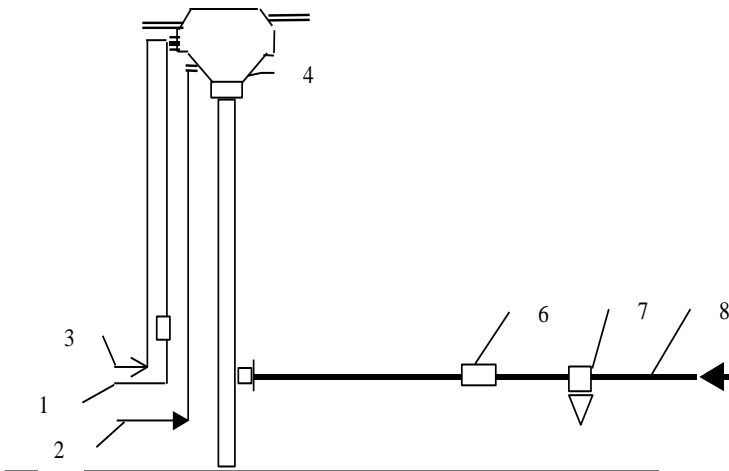


Рисунок 6.5 - Схема факельної установки для запалювання газового викиду

1 – вертикальний ствол факела; 2 – факельна горілка; 3 – лінія що підводить газ на спалювання; 4 – лінія, що підводить газ до чергової горілки; 5 – лінія для запалу чергової горілки зі

змішувачем та електрозапалом; 6 – водяна пара; 7 – сепаратор для уловлювання рідини з газу; 8 – вогнеперешкоджувач

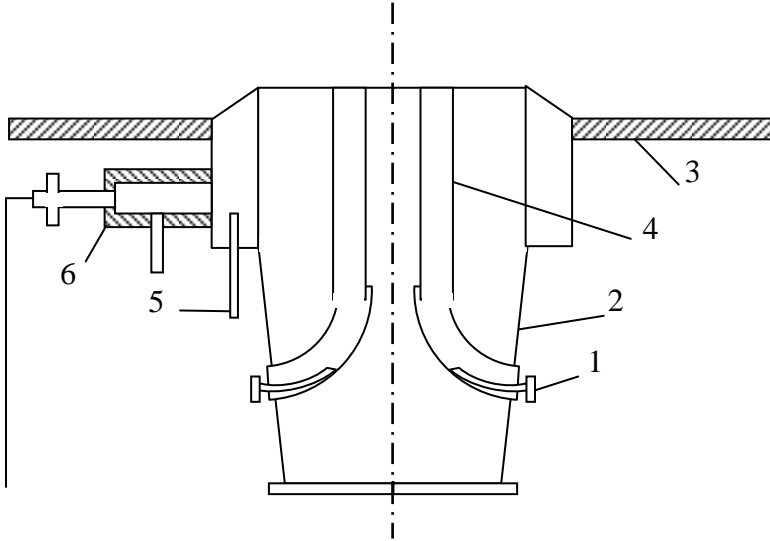


Рисунок 6.6. Конструкція факельної горілки з паровими дюзами

1 – парова дюза; 2 – корпус факельної горілки; 3 – захисний козирок; 4 – повітряна труба; 5 – термопара; 6 – чергова горілка

Найкраще побічні продукти і відходи виробництва не спалювати на факельних установках, а утилізувати.

### 6.1.2 Вогневі ремонтні роботи

Значну пожежну небезпеку являють собою вогневі ремонтні і монтажні роботи на промислових підприємствах, складах і базах. До вогневих робіт відносяться електрогазозварювальні, різальні, паяльні, ремонтні і монтажні роботи, зв'язані з нагріванням деталей, устаткування, конструкцій і комунікацій відкритим вогнем; вогневе напилювання на поверхні полімерних матеріалів і т.д. Пожежна небезпека вогневих робіт обумовлена не тільки відкритим полум'ям, але і наявністю розпеченого і розплавленого металу, іскор у виді дрібних палаючих крапель металу, що розлітаються в усі

сторони, розпечених недогарків електродів і розігрітих ділянок апарату, трубопроводу або інших конструктивних елементів, оброблюваних полум'ям. При газовому зварюванні і різанні металів та бензорізальних роботах прагнуть одержати полум'я з максимально високою температурою, для чого паливо спалюють у чистому кисні.

Температура полум'я в цьому випадку досягає 2000 – 3000 °С. Температура полум'я дуги при використанні вугільних електродів складає 3200 – 3900 °С, а при використанні сталевих електродів 2400 – 2600 °С.

Найбільша кількість бризок та іскор утворюється при газовому або повітряно-дуговому різанні металів. У цьому випадку значна частина розплавленої маси металу видувається з прорізуваної канавки повітряним струменем на відстань 10 м і більше навколо місця проведення робіт. При зварюванні металів іскор і бризок виділяється менше, але й у цьому випадку близько 10% металу електродів і деяка частина основного металу витрачається на їх утворення. Краплі й іскри у виді частково розплавленого металу мають температуру 1700°С. Природно, що, потрапляючи на горючі матеріали, вони їх запалюють.

Так, наприклад, при проведенні вогневих робіт виникла пожежа і вибух в цеху з виробництва неозону-Д. У приміщенні цеху і на виробничому устаткуванні знаходився товстий шар відкладень порошку і пилу неозону-Д. Необхідні заходи до герметизації устаткування і прибирання приміщення від пилу не вживалися, тому що неозон-Д помилково вважали негорючою речовиною. Влучення іскор і крапель металу на відкладення пилу викликало його запалювання з наступним вибухом і великою пожежею.

Пожежна небезпека від іскор і розжарених залишків (недогарків) електродів виникає найчастіше при вогневих роботах на висоті. У цьому випадку іскри і недогарки, потрапляючи на перекриття і леси нижче місця зварювання, можуть викликати загоряння відходів горючих матеріалів і конструкцій. Загоряння часто виявляють через кілька годин після закінчення вогневих робіт.

Нерідко іскри через незахищені прорізи й отвори попадають у нижче розташовані або сусідні приміщення, викликаючи в них пожежі.

Місця проведення вогневих робіт підрозділяються на постійні і тимчасові. До постійних місць відносяться такі, де вогневі роботи проводяться щодня або з невеликими перервами, причому порядок ведення робіт дозволяє заздалегідь передбачити конкретні заходи з пожежної безпеки на весь період їхнього проведення і забезпечити необхідну кількість засобів пожежогасіння. До тимчасових вогневих місць відносять такі, де вогневі роботи проводяться періодично, у зв'язку з аварійно-відновлювальним або плановим ремонтом устаткування, різанням, відігріванням і т.п., а також будівельно-монтажними роботами на споруджуваних об'єктах.

При проведенні вогневих робіт на тимчасових місцях попередньо розробляють заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, повідомляють про це в пожежну охорону об'єкта, призначають осіб, що відповідають за дотримання правил пожежної безпеки на місці проведення цих робіт, інструктують їх та виконавців робіт (електрозварювальників, газозварювальників, бензорізчиків, паяльщиків) про заходи з пожежної безпеки і після цього видають письмовий дозвіл на проведення робіт. При ліквідації аварії вогневі роботи проводять під безпосереднім наглядом начальника цеху або головного інженера без письмового дозволу. Перед початком вогневих робіт представник пожежної охорони перевіряє правильність підготовки місця роботи, забезпеченість засобами пожежогасіння, знання особливостей пожежної небезпеки на даній ділянці виробництва. За необхідності виставляється пожежний пост з відповідною технікою. Для запобігання розльоту бризок та іскор в сторони, а також для захисту елементів конструкцій і предметів, що можуть загорітись, застосовують захисні екрани або брезентові занавіски, поли, що можуть горіти, захищають металевими листами і засипають вологою стружкою. Оскільки площа розльоту іскор зростає зі збільшенням висоти місця зварювання над рівнем полу або

площадки, то і місце проведення вогневих робіт очищають від горючих матеріалів у радіусі, величина якого залежить від висоти місця зварювання.

У пожежонебезпечних місцях зварювальні, газорізальні, бензорізальні і паяльні роботи проводять тільки після ретельного збирання пожежонебезпечної продукції, очищення апаратури і приміщень, повного видалення вибухонебезпечних пилів, газів та інших речовин, легкозаймистих і горючих рідин. Приміщення безперервно вентилують і здійснюють контроль за станом повітряного середовища шляхом проведення експрес-аналізів або за допомогою стаціонарних газосигналізаторів. Після закінчення місце проведення вогневих робіт ретельно оглядають. Вогневі роботи негайно припиняють, якщо в процесі їхнього виконання, незважаючи на вжиті заходи, виявлена поява газу, пари або горючих рідин, а також за інших умов, що викликають пожежну небезпеку даної ділянки виробництва.

### **6.1.3 Джерела вогню, не викликані потребами технології виробництва**

Нерідко пожежі виникають при порушенні елементарних вимог, тобто при використанні смолоскипів для розігріву застиглому продукту в трубах, висвітлення при огляді апаратів, ємностей, при вимірі рівня рідин, палінні і використанні сірників у недозволених місцях, розведенні багать на території об'єкта, випалюванні горючих відкладень в апаратах, трубопроводах і т.п. Грубі порушення встановлених правил пожежної безпеки усе ще спостерігаються, незважаючи на велику роз'яснювальну роботу і вжиття адміністративних заходів.

На одному з об'єктів місцевої промисловості виникла пожежа в цеху з обробки целулоїдних виробів. Цех був розміщений на другому поверсі двоповерхового будинку. Між робочими змінами в приміщенні цеху проводили бесіду, і в цей період один з робітників, закуривши, кинув палаючий сірник на стіль. Відбулося запалювання целулоїдних відходів, пожежа швидко поширилася по всьому приміщенню.

Подібні пожежі спостерігалися на складах твердих матеріалів і горючих рідин. Так, на одному з заводів хімічного волокна виникла пожежа на складі капролактаму. Капролактаму (синтетична пальна речовина з температурою плавлення 70°C) розміщався штабелями в поліетиленових мішках, що, у свою чергу, знаходилися в джутових мішках (на сьогодні перед надходженням смоли на склад джутове упакування знімається). Пізно ввечері учень апаратника, розрізаючи мішки, упустив ніж і, щоб знайти його, запалив сірник. Від полум'я сірника запало джутові мішки. Вогонь став швидко поширюватися по штабелям капролактаму та смолі, що розтікалася при плавленні. Оскільки капролактаму добре розчиняється у воді, пожежу загасили розпиленими і компактними струменями води.

Запалювання багатьох речовин можливо і від таких «малокалорійних» джерел, як тліючий недокурок сигарети або цигарки. Факти і дослідження показали, що тліюча сигарета і цигарка мають температуру 350 – 400 °С, а тривалість тління доходить до 12 хв. і більше. Контакт палаючого недокурка з твердою і волокнистою речовиною або пилом викликає появу вогнища тління, що при достатньому доступі повітря і за умов, які сприяють акумуляції тепла, що виділяється, викликає полум'яне горіння речовини. Тому жевріюча цигарка або сигарета за наявності оптимальних умов викликає запалювання:

- стружок і деревини - через 1 - 1,5 і 2 - 3 год. відповідно (полум'я з'являється при температурі 450 – 500 °С);
- паперових відходів, сіна, соломи через 0,25 - 1 год. (у залежності від їхньої щільності);
- бавовняних тканин - через 0,5 - 1 год. (у залежності від об'ємної ваги тканини).

У цехах, складах і на території пожежовибухонебезпечних об'єктів необхідно обладнати спеціальні місця для паління.

У місцях для паління повинні бути стаціонарно-змонтовані електрозапальники та урни з водою.

Для відігрівання замерзлих труб замість смолоскипів варто використовувати гарячу воду, водяну пару або індукційні

грілки. Тверді відкладення в трубопроводах розпарюють і очищають шкребками, а за необхідності випалювання демонтують труби і здійснюють цей процес на постійних місцях проведення вогневих робіт або на спеціально виділених площадках поза цехом.

Випалювання твердих і рідких горючих відкладень у повітропроводах без їхнього демонтажу може бути допущено тільки у виняткових випадках з дозволу Держпожнадзора та під безпосереднім наглядом начальника цеху і пожежної охорони об'єкта. На час випалювання в цеху виставляють пожежний піст.

#### **6.1.4 Високонагріті продукти горіння**

При горінні твердих, рідких або газоподібних речовин у топках і двигунах внутрішнього згорання утворюється велика кількість газоподібних продуктів горіння, що мають високу температуру. Температура топкових і вихлопних газів залежить від багатьох факторів і досягає 800 – 1200 °С та вище. Якщо навіть врахувати зниження температури газів за мірою їхнього руху в трубах і каналах (зниження температури складає 2–6°С на 1 м цегельного каналу і 15 – 45 °С на 1 м металевої труби), то температура газів також буде досить високою. За такої температури топкових газів зовнішня поверхня стінок може бути нагріта вище температури самоспалахування речовин, що знаходяться у виробництві. Особливо це відноситься до металевих вихлопних труб. Значну пожежну небезпеку представляє вихід гарячих газів через несправності кладки топок, димових каналів і при пошкодженні вихлопних труб двигунів внутрішнього згорання. Тому при експлуатації топок і двигунів стежать за станом кладки димових каналів, не допускаючи нещільностей та прогару вихлопних труб, а також забруднення їхньої поверхні горючим пилом або наявності поблизу нагрітих поверхонь яких-небудь горючих речовин. Високонагріті поверхні металевих труб захищають теплоізоляцією з негорючих матеріалів або кожухами, що продуваються. Гранично припустима температура



поверхні неізолюваних металевих труб не повинна перевищувати 80% температури самоспалахування речовин, що знаходяться в приміщенні (за винятком тих випадків, коли горючі речовини здатні до теплового самозаймання).

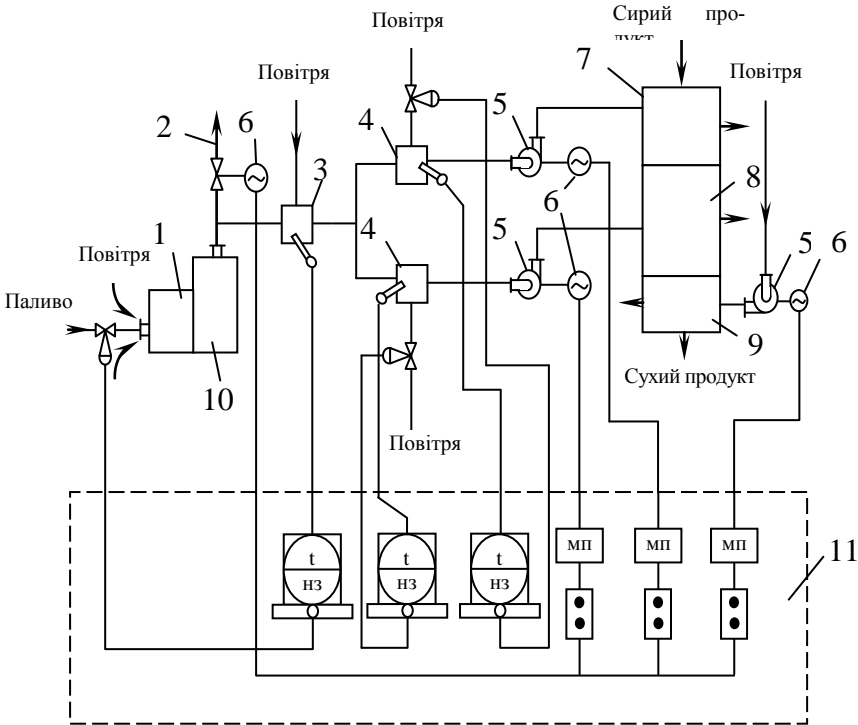


Рисунок 6.7 - Схема сушильної установки, що працює на суміші топкових газів з повітрям

1 - топка; 2 – розтопочна труба; 3 - змішувальна камера з постійно відкритою повітряною трубою; 4 - змішувальні камери з лініями регульованої подачі повітря; 5 - вентилятори; 6 - електродвигуни; 7 - перша зона сушильної камери; 8 - друга (гаряча) зона сушильної камери; 9 - холодильна зона; 10 - іскроуловлюючі пристрої топки; 11 - панель приладів автоматичного контролю і регулювання

Нерідко продукти горіння використовують як теплоносії при сушінні деревини, тріски, волокнистих і сипучих органічних матеріалів. Перед поданням теплоносія в сушильну камеру його розбавляють у змішувальних камерах холодним повітрям до необхідної температури. Схема подачі теплоносія в сушильну камеру показана на рис. 6.6. Повітряна труба змішувальної камери постійно відкрита. При розпалюванні через цю трубу дим викидається назовні, а при роботі сушарки через неї підсмоктується постійна кількість холодного повітря, що дозволяє одержати газоповітряну суміш з максимальною робочою температурою. Для одержання суміші з необхідною температурою холодне повітря підсмоктується через повітряні труби змішувальних камер. При зменшенні або припиненні подачі холодного повітря в змішувачі, а також за відсутності температурного контролю надмірно гарячі продукти горіння будуть попадати в сушильну камеру і можуть викликати пожежу. Щоб уникнути цього, в механізованих сушарках застосовують системи автоматичного регулювання температури або контролю за температурою теплоносія, який подають в сушильну камеру, а при зупинці вентилятора також автоматично перекривається лінія подачі газу в сушильну камеру, і продукти горіння викидаються назовні, через що відкривається або постійно відкрита розтопочна труба.

Одна зі спрощених схем автоматичного регулювання температури теплоносія, який подається в сушильну камеру, показана на рис. 6.8. Пожежна небезпека від іскор та їхнє уловлювання з топкових газів розглянуті в наступному параграфі. У місцях проходження димових і вихлопних труб через згоряємі конструкції стін, перекриттів або покриттів улаштовують протипожежні перешкоди.

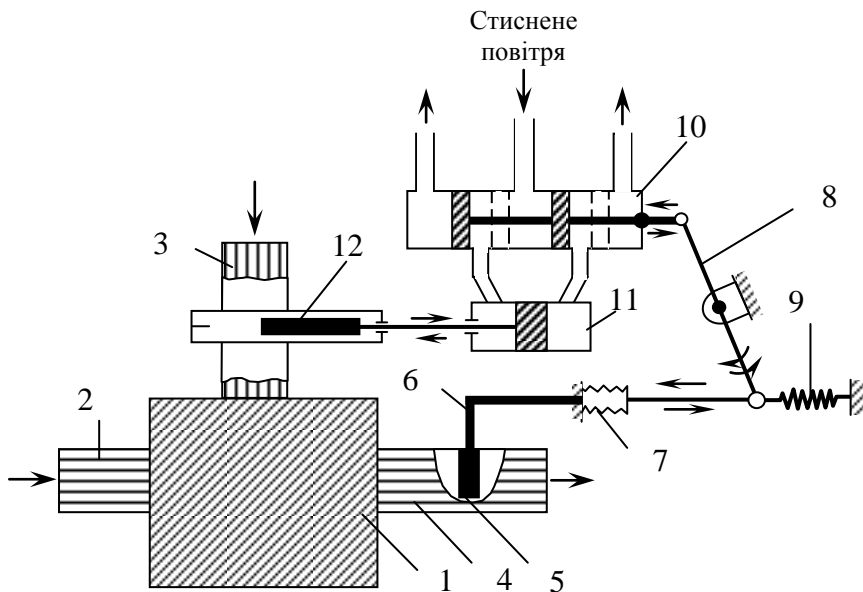


Рисунок 6.8 - Схема автоматичного регулювання температури теплоносія, що подається в сушильну камеру  
 1 - змішувальна камера; 2 - труба гарячих топкових газів; 3 - труба холодного повітря; 4 - труба подачі готової суміші (теплоносія) у камеру; 5 - термобалон (чутливий елемент на зміну температури); 6 - капілярна трубка; 7 – сильфон; 8 - важіль; 9 - пружина для повернення важеля вліво при зниженні температури теплоносія; 10 - золотник для подачі стиснутого повітря; 11 - циліндр підсилювача; 12 – шибер

### 6.1.5 Іскри при роботі топків і двигунів

Іскри являють собою тверді тліючі часточки в газовому потоці, що утворюються в результаті процесів неповного згоряння або механічного віднесення горючих речовин. Температура такої твердої часточки досить висока, звичайно вище температури самоспалахування майже всіх горючих речовин, але запас теплової енергії невеликий, тому що в переважній більшості випадків маса іскри дуже мала.

Отже, іскра здатна запалити тільки речовини, що достатньо підготовлені до горіння і мають невеликий період індукції. До таких речовин відносяться газо- і пароповітряні суміші, особливо при концентраціях, близьких до стехіометричних, а також осілий пил і волокнисті матеріали.

Основними причинами утворення іскор при роботі топок є:

- великий механічний винос палива в результаті конструктивних недоліків топки, застосування того сорту палива, на яке печі не розраховані, посилене шурування та дугтя;
- неповне згоряння палива в результаті недостатньої подачі повітря, надмірної подачі палива, недостатнього розпилення рідкого палива;
- порушення термінів очищення топок і димарів від сажі.

Основні причини утворення іскор і нагару при роботі дизельних і карбюраторних двигунів:

- неправильне регулювання системи подачі палива та електрозапалювання;
- забруднення палива мастилом і мінеральними домішками;
- тривала робота з перевантаженням двигуна;
- порушення термінів очищення вихлопної системи від нагару.

Щоб уникнути виникнення пожеж від іскор при спалюванні палива, необхідно усувати причини іскроутворення, а також уловлювати і гасити ті іскри, що все-таки утворилися і викидаються назовні.

Усунення причин іскроутворення забезпечують шляхом підтримки топок і двигунів у доброму технічному стані, дотримання встановлених режимів спалювання палива, використання тільки того виду палива, на яке розрахована багніста, за допомогою регулярного очищення поверхні від сажі і нагару, влаштування димарів такої висоти, щоб іскри догоряли і гаснули, не досягаючи будівель та інших місць з пальними речовинами.

Уловлювання і гасіння іскор при роботі топок і двигунів внутрішнього згоряння досягається використанням іскроуловлювачів та іскрогасників. В основі пристроїв для уловлювання і гасіння іскор можуть бути використані: сили ваги (осаджувальні камери), сили інерції (камери з перегородками, сітками, насадками), відцентрові сили (циклонні уловлювачі, турбінно-вихрові), сили електричного притягання (електрофільтри), охолодження водою (водяники завіси, уловлювання поверхнею води), охолодження і розведення газів водяними парами й ін.

Найбільш розповсюджену групу представляють іскроуловлювачі з використанням сил ваги й інерції, а також відцентрових сил. Такими іскроуловлювачами обладнують сушилки, що працюють на суміші димових газів з повітрям, вихлопні труби тракторів, комбайнів, автомобілів, паровозів, димарі вагранок, локомотивів, котелень і т.д. Осадження іскор під дією сили ваги здійснюють в іскроосаджувальних камерах, один з варіантів якої показаний на рис. 6.9.

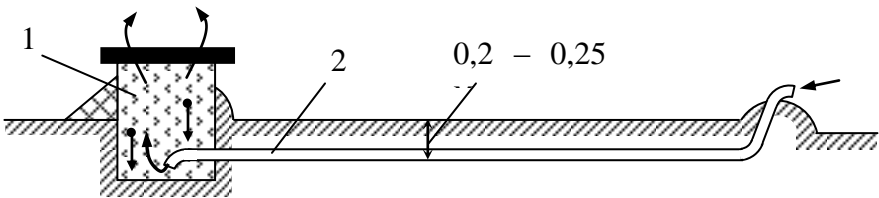


Рисунок 6.9 - Іскроуловлювач, захисна дія якого заснована на використанні сили ваги (іскроосаджувальна камера): 1 - іскроосаджувальна камера; 2 - вихлопна труба двигуна

За малої швидкості руху газу в камері піднімальна сила потоку, що впливає на іскри, виявляється менше сили ваги, й іскра осідає.

Такий іскроуловлювач громіздкий і недостатньо ефективний. Тому в чистому виді іскроосаджувальні камери застосовують рідко, але принцип, покладений в основу їхньої роботи, використовуються в багатьох іскрогасниках.

В іскроуловлювачах інерційної дії на шляху руху пазового потоку встановлюють які-небудь відбивні пристрої (у виді сіток, перегородок, козирків, жалюзів і т.п.). Газовий потік, зустрічаючи перешкоду, змінює напрямок свого руху, а іскри, рухаючись за інерцією, ударяються об перешкоду, дробляться, утрачають швидкість, осідають або догорають. Ефективність уловлювання іскор такими приладами зростає зі збільшенням ваги іскор і швидкості руху, тому що кінетична енергія (отже, й інерційність) іскри дорівнює:

$$F = 0,5 \frac{G v^2}{g} , \quad (6.6)$$

де  $G$  - вага іскри, кг;

$g$  - швидкість руху потоку, м/сек.

Найпростіші іскроуловлювачі інерційної дії показані на рис. 6.10.

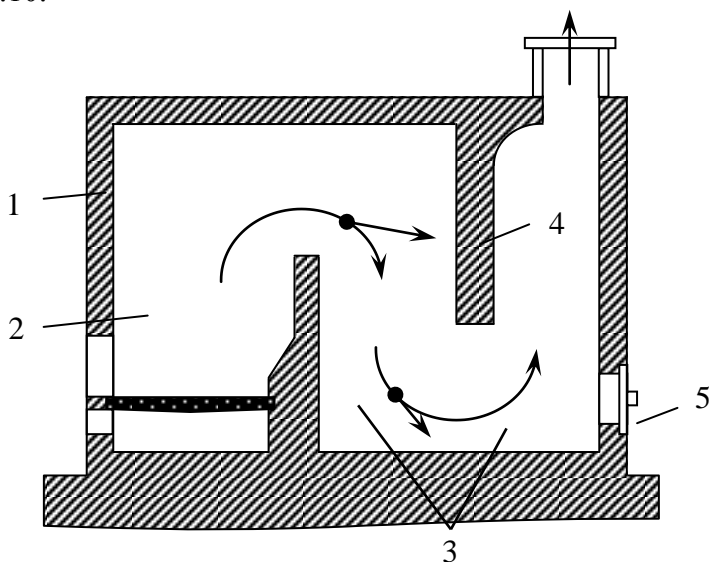


Рисунок 6.10 - Іскроуловлювач інерційної дії

1 – корпус печі; 2 – камера горіння; 3 – іскроосаджувальна камера; 4 – перегородка камери; 5 – дверця очисного отвору

Іскроуловлювачі сітчастого типу малоефективні: отвори сіток забиваються, сітки швидко прогоряють. Більш ефективним є інерційний іскроуловлювач жалюзійного типу, показаний на рис. 6.11. Завдяки багаторазовим різким поворотам струменя газу при його ударі об жалюзі перетинних кілець, які звужуються, жалюзі уловлюється до 90—95% всіх іскор.

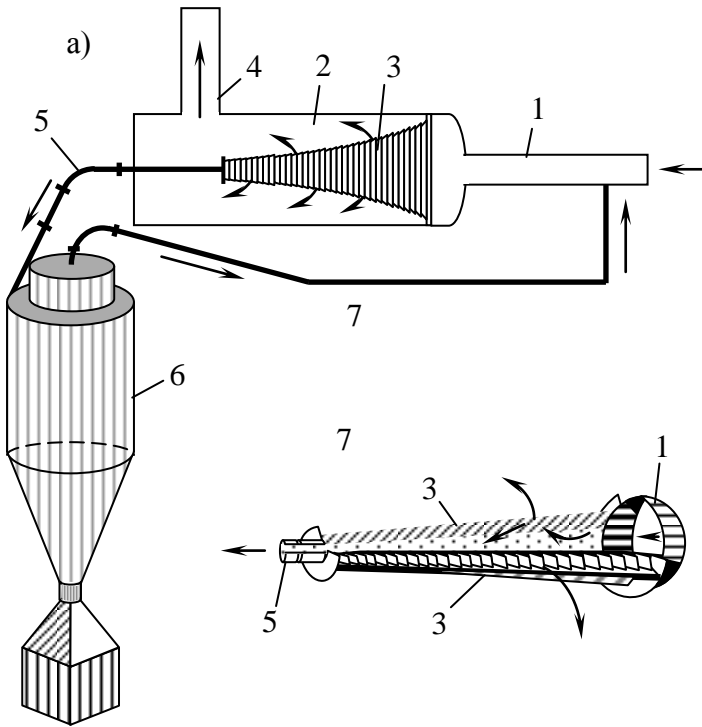


Рис. 6.11 - Інерційний іскроуловлювач жалюзійного типу  
 а - схема включення іскроуловлювача; б - робоча камера (система конічних кілець);  
 1 – газопровід; 2 - жалюзійний іскроуловлювач; 3 - конічні кільця робочої камери; 4 - лінія очищених від іскор газів; 5 - лінія для подачі уловлених іскор у циклон; 6 - циклон для очищення газу від великих іскор; 7 - повернення газу з дрібними іскрами в жалюзійну камеру

Недостатність змащення підшипника може бути викликана її нерегулярністю, малою кількістю подачі мастила, засміченістю отвору чи каналу для підведення мастила до підшипника, а також застосуванням мастила не того сорту, на яке даний підшипник розрахований.

Погіршенню умов тепловіддачі від поверхні підшипника в навколишнє середовище можуть сприяти забруднення поверхні шаром малотеплопровідних речовин, несправність системи додаткового охолодження підшипника, додаткова ізоляція підшипника або всієї машини не вентиляльованими кожухами і т.п.

Дуже часто зовнішня поверхня підшипників забруднюється відкладеннями горючого пилу (деревного, борошняного, бавовняного), що створює умови для їх перегріву й у той же час, піддаючись тривалому впливу тепла, вона починає окислятися. Примусове охолодження підшипників найчастіше забезпечують циркуляцією мастила чи холодної води через охолоджувальну сорочку підшипника. Недостатня кількість подаваного в систему охолодження мастила чи води, а також сильне забруднення теплообмінної поверхні приводить до підвищення температури підшипника.

Приблизну величину температури підшипника ковзання, схема якого показана на рис. 6.23, можна визначити розрахунковим шляхом. Температура поверхні підшипника при порушенні режиму його роботи буде змінюватися в часі. При цьому для відрізка часу  $dt$  можна записати наступне рівняння теплового балансу:

$$dQ_{\text{тр}} = dQ_{\text{нагр}} + dQ_{\text{охол}} + dQ_{\text{втр}}, \quad (6.23)$$

де  $Q_{\text{тр}}$  - кількість тепла, що виділяється в результаті перевантаження чи відсутності змащення підшипника;

$Q_{\text{нагр}}$  - кількість тепла, що йде на нагрівання підшипника;

$Q_{\text{охол}}$  - кількість тепла, що відводиться примусовою системою охолодження;



$Q_{\text{втр}}$  - втрати тепла поверхнею підшипника в навколишнє середовище.

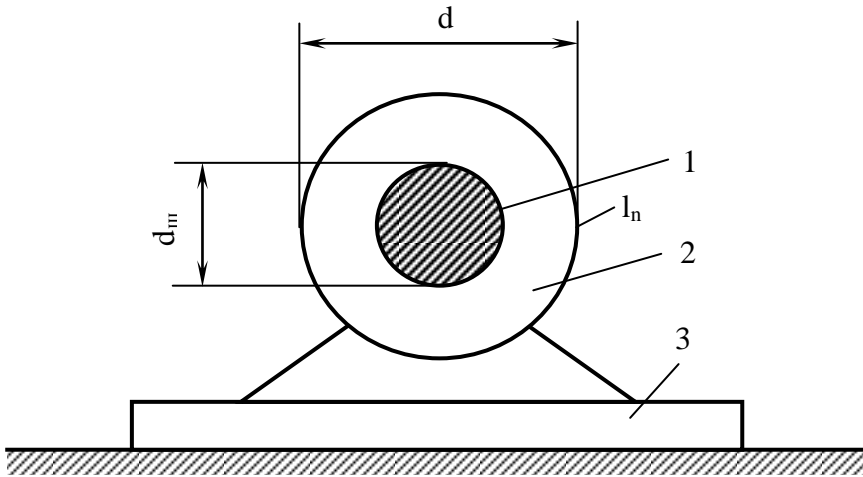


Рисунок 6.23 - Схема підшипника ковзання

1 - шип вала; 2 - корпус підшипника; 3 - станина

Кількість тепла, що виділяється при роботі підшипника  $dQ_{\text{тр}}$ , може бути визначена наступним способом.

Робота  $A$  при обертальному русі тіла дорівнює:

$$dA = M \cdot \omega \cdot d\tau, \quad (6.24)$$

де  $M$  - момент сили тертя, кгм;

$\omega$  - кутова швидкість, 1/сек;

$\tau$  - тривалість роботи підшипника, сек.

Стосовно до підшипника робота сил тертя буде:

$$dA = f \cdot N \frac{d}{2} \omega \cdot d\tau = f \cdot N \frac{\pi d n}{60} d\tau, \quad (6.25)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя;

$n$  - число обертів вала, 1/хв;

$N$  - сила, що діє на підшипник, кг;

$d$  - діаметр шипа вала, м.

З метою спрощення задачі, будемо вважати, що коефіцієнт тертя для даних матеріалів є величиною постійною, тоді

$$dQ_{\text{тр}} = \frac{dA}{427} = \frac{3600}{60 \cdot 427} f \cdot N \cdot \pi \cdot n \cdot dt = 0,44 \cdot f \cdot N \cdot d \cdot n \cdot dt. \quad (6.26)$$

Позначивши добуток постійних величин (а), будемо мати:

$$dQ_{\text{тр}} = a \cdot dt. \quad (6.27)$$

Кількість тепла, що затрачується на нагрівання підшипника  $dQ_{\text{нагр}}$  при підвищенні температури на  $dt$ , буде дорівнювати:

$$dQ = m \cdot c \cdot dt, \quad (6.28)$$

де  $m$  - вага деталей підшипника, що нагріваються, кг;  
 $c$  - питома теплоємність матеріалу підшипника ковзання, ккал/кг град.

Для спрощення задачі будемо вважати, що питома теплоємність матеріалу не змінюється за зміни температури.

Кількість тепла, що відводиться примусовою системою охолодження  $dQ_{\text{охол}}$ , можна знайти, знаючи кількість рідини, що подається на охолодження, її початкову і кінцеву температури.

У нашому випадку  $dQ_{\text{охол}}$  можна прийняти рівним нулю, тому що це буде відповідати найбільш небезпечному випадку роботи підшипника.

Кількість тепла, що втрачається поверхнею підшипника в навколишнє середовище  $dQ_{\text{втр}}$ , буде дорівнювати:

$$dQ_{\text{втр}} = \alpha (t - t_{\text{пов}}) \cdot F \cdot dt, \quad (6.29)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт теплообміну між поверхнею підшипника і середовищем, ккал/м<sup>2</sup> град;

$t$  - температура поверхні підшипника в даний момент часу, °C;

$F$  - поверхня теплообміну (поверхня підшипника, яка омивається навколишнім повітрям), м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт теплообміну ( $\alpha$ ) визначають за відомими формулами теплопередачі від поверхні циліндра в навколишнє середовище за вільною конвекції повітря, а саме:

$$Nu_m = c(Gr, Pr)_m^n, \quad (6.30)$$

де  $Nu_m$  — критерій Нуссельта:

$$Nu_m = \frac{\alpha d_{\Pi}}{\lambda}, \quad (6.31)$$

$Gr$  – критерій Грасгофа;

$Pr$ - критерій Прандтля;

$c$  і  $n$  – коефіцієнти, обумовлені в залежності від величини добутку  $Gr, Pr$  (за таблицею 6.3).

Таблиця 6.3 - Значення коефіцієнтів  $c$  і  $n$

$(Gr, Pr)_m$	$c$	$n$
$1 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8
$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4
Більше $2 \cdot 10^7$	0,135	1/3

Примітка: Індекс  $m$  означає, що фізичні параметри при обчисленні критеріїв беруться за середньої температури

Підставляючи знайдені значення ( $d$ ) з формул (6.27) - (6.29) у рівняння (6.23), будемо мати:

$$Ad\tau = m \cdot c \cdot dt + \alpha(t - t_{\text{пов}})Fd\tau. \quad (6.32)$$

Розділивши змінні, одержимо:

$$\frac{d\tau}{mc} = \frac{dt}{a - \alpha F(t - t_{\text{пов}})}. \quad (6.33)$$

Вирішуючи отримане диференціальне рівняння, одержимо:

$$-\frac{1}{\alpha F} \ln[a - \alpha F(t_{\text{п}} - t_{\text{пов}})] = \frac{\tau}{mc} + A. \quad (6.34)$$

Постійну інтегрування (A) визначимо з початкової умови, прийнявши, що температура поверхні підшипника дорівнює температурі середовища, тобто при  $\tau = 0$ ,  $t_{\text{п}} - t_{\text{пов}} = 0$ , тоді

$$A = -\frac{1}{\alpha F} \ln a.$$

Отже,

$$\frac{\tau}{mc} = \frac{1}{\alpha F} \ln a - \frac{1}{\alpha F} \ln[a - \alpha F(t_{\text{п}} - t_{\text{пов}})],$$

або

$$\tau = \frac{mc}{\alpha F} \ln \left[ \frac{a}{a - \alpha F(t_{\text{п}} - t_{\text{пов}})} \right]. \quad (6.35)$$

Після відповідного перетворення одержимо:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{пов}} + \frac{a}{\alpha F} \left( 1 - e^{-\frac{\alpha F \tau}{mc}} \right). \quad (6.36)$$

Отримані рівняння дають можливість установити температуру підшипника через визначений проміжок часу його роботи з перевантаженням або знайти час, протягом якого температура поверхні підшипника досягне небезпечної величини.

Щоб уникнути перегріву підшипників, здійснюють наступні заходи.

В усіх випадках доцільно замість підшипників ковзання, що нагріваються понад норму, застосовувати підшипники кочення. Особливо це стосується сильнонавантажених та високочастотних валів.

Велика увага повинна бути приділена систематичному змащенню підшипників. Добре змазувати підшипники — це не значить подавати більше мастила. Нормальне змащення припускає використання того сорту мастила й у тій кількості, що встановлена правилами експлуатації для даного підшипника, при точному дотриманні термінів змащення.

Під час роботи машин, що мають сильно навантажені вали і вали, що швидко обертаються, ведуть контроль за температурою підшипників. Контроль за температурою при доступності підшипника може здійснюватися найпростішим способом — доторком тильної сторони долоні до поверхні підшипника.

У складних і особливо "відповідальних" машинах (турбінах, дизелях і т.п.) контроль за температурою підшипників здійснюють шляхом застосування приладів дистанційної дії з датчиками у вигляді термодатчиків, термометрів опору або термобалончиків. Для цього в тілі підшипника роблять кілька гнізд і закладають у них чутливі елементи, а приклади, що показують, реєструють або сигнальні монтують на щиті керування. При підвищенні температури понад установлену величину прилади автоматично подають сигнали — оптичний і акустичний.

Для контролю за температурою підшипників можна рекомендувати також покриття їх фарбами, що змінюють свій колір при нагріванні. Нижче для прикладу наведені рецепти термочутливих покриттів, які можна застосовувати для індикації температури підшипників.

Рецепт I. Розчиняється 17 г  $\text{AgNO}_3$  у 150 мл води і 16,6 г  $\text{KJ}$  також у 150 мл води. Обидва розчини змішують, при цьому протікає реакція:

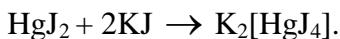


Жовтий осадок, що виділився, промивають і відфільтровують у темряві. Потім розчиняють 13,6 г  $\text{HgCl}_2$  у 400 мл води (при температурі до 25 — 30°C) і 16,6 г KJ у 100 мл води. При змішуванні цих розчинів протікає реакція:



Яскраво-червоний осадок, що виділився, відфільтровують і промивають. Сухі осади солей Ag і  $\text{Hg}_2$  розчиняють у спирті, причому колір з червоного переходить у жовтий. Після випаровування спирту отримана фарба розтирається в оліфі чи шелаку і наноситься на поверхню. При нагріванні до 40 — 45°C жовтий колір фарби змінюється на червоний.

Рецепт II. У 100 мл води розчиняють 15 г  $\text{HgJ}_2$  і 11 г KJ:



Окремо розчиняють 10,5 г  $\text{CuSO}_4$  у 100 мл води. Потім обидва розчини зливають разом при постійному збовтуванні. При цьому протікає реакція, у результаті якої виділяється червоний осадок комплексної (подвійної) солі  $\text{Cu}[\text{Hg}_4]$ :



Осадок відфільтровують і промивають. Для подальшого використання фарба розчиняється в оліфі чи шелаку. При нагріванні до 70— 80°C фарба з червоної стає темно-вишневою.

Захисна дія фарб зберігається до 1 року. Після кожного нагрівання і наступного остигання фарба відновлює свій первісний колір.

Недоліки підшипників ковзання зі звичайним способом змащення деякою мірою усуваються застосуванням підшипників з металокерамічними втулками (рис. 6.24), що вимагають дуже мало однотипного для всіх машин мастила, а також із вкладишами з капрону і фторопласту.

Не можна допускати сильного затягування підшипників і ущільнювальних сальників. Для захисту поверхні підшипників

від забруднення застосовують системи обдуву, а не захисні кожухи, що погіршують умови охолодження.

Якщо підшипники мають циркуляційне масляне охолодження чи охолодження водою, спостерігають за температурою охолоджуючої рідини і відповідно регулюють її подачу.

Зовнішню поверхню підшипників варто очищати від пилу й інших відкладень. У процесі роботи спостерігають за тим, щоб машини не мали тривалих перевантажень.

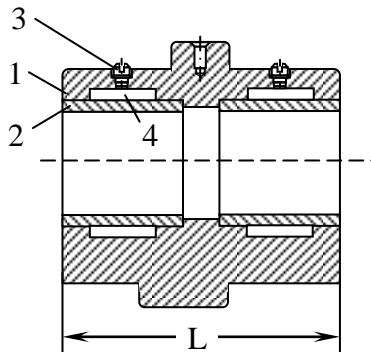


Рисунок 6.24 - Підшипник з металокерамічною втулкою  
1 - корпус підшипника; 2 - металокерамічна втулка; 3 - гвинт;  
4 - резервуар для мастила

### 6.2.7 Перегрів транспортерних стрічок і приводних ременів

Основною причиною перегріву приводних ременів і транспортерних стрічок є тривале проковзування ремня чи стрічки щодо шківів. Таке проковзування, назване буксуванням, виникає в результаті невідповідності між переданим зусиллям і натягом відгалужень ремня, стрічки.

При буксуванні вся енергія витрачається на тертя ремня о шків, у результаті чого виділяється значна кількість тепла. Найбільш часте буксування транспортерних стрічок, стрічок норій (вертикальних ковшових елеваторів) і пасових передач виникає через перевантаження чи слабкий натяг ремня. У норій причиною буксування стрічки найчастіше є завал башмака, тоб-

то такий стан, коли ковші норії не можуть пройти крізь товщу речовини, що транспортується. До перевантаження і буксування можуть привести також защемлення стрічки, перекоси і т.п.

Так, наприклад, на одній збагачувальній фабриці від буксування транспортерної стрічки виникла пожежа, у результаті чого виробниче устаткування було сильно пошкоджено. Буксування відбулося від того, що вугілля, надходячи з бункера, заклинило стрічку поблизу приводного барабану.

Щоб уникнути перегрівів і загорянь транспортерних стрічок і приводних ременів, не можна допускати роботу з перевантаженням, необхідно контролювати ступінь натягу стрічки, ременя та їхній стан. Не можна допускати завалів башмаків норій продукцією, перекосів стрічок з тертям їх об кожухи та інші предмети, що знаходяться поруч. У деяких випадках (при застосуванні потужних, високопродуктивних транспортерів і норій) застосовують пристрої і пристосування, що автоматично сигналізують про їх роботу з перевантаженням стрічки або зупиняють рух стрічки з ковшами при завалі башмака норії.

У деяких випадках для зменшення буксування ремень посипають каніфоллю. Однак цей метод не усуває основної причини буксування, а приводить лише до короткочасного ефекту. Крім того, обробка ременя каніфоллю сприяє утворенню зарядів статичної електрики, що представляє певну пожежну небезпеку. Найкращий ефект в усуненні буксування дає застосування клинопасової передачі. Тому там, де це можливо, рекомендується плоскопасові передачі замінити клинопасовими.

### **6.2.8 Загоряння волокнистих матеріалів при намотуванні їх на вали**

Волокнисті матеріали нерідко намотуються на вали біля підшипників. Намотування супроводжується поступовим ущільненням маси, а потім сильним нагріванням її при терті о стінки машини, обвуглюванням і, нарешті, запалюванням.



Пожежі від подібного роду причин часто виникають на льонозаводах, пенько-джутових заводах, прядильних фабриках, сушарках волокна, у комбайнах при збиранні зернових культур і т.п. Так, нерідко виникають пожежі від намотування віскозного штапельного волокна на вали барабанів сушарок і вентиляторів (рис. 6.25).

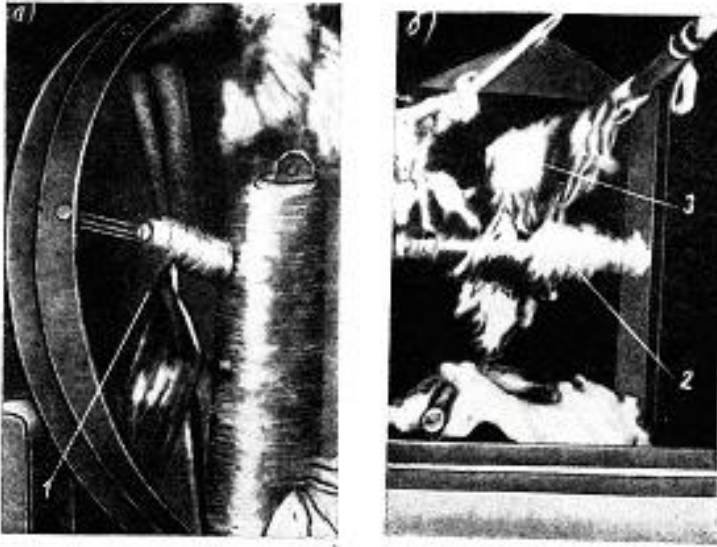


Рисунок 6.25 - Намотування штапельного волокна на вентиляторі текстильних машин і сушарок

а - намотування волокна на вентилятор; б - намотування волокна на вал вентилятора; 1 - вентилятор; 2 - вал вентилятора; 3 - парові труби

Іноді загоряння відбувається в результаті намотування волокнистих матеріалів на вали транспортерів, що переміщують відходи і готову продукцію. На прядильних фабриках загоряння часто виникають у результаті обриву шнура чи тасьми, за допомогою яких приводяться в обертання веретена прядильних машин з наступним намотуванням їх на шийки ведучих валів, що швидко обертаються.

Намотуванню волокнистих матеріалів на обертові вали

машин сприяють: наявність збільшеного зазору між валом і підшипником (потрапляючи в цей зазор, волокно заклинюється, защемляється, починається процес намотування його на вал з усе більш сильним ущільненням шарів), наявність оголених ділянок валу, з якими стикаються волокнисті матеріали, пропуск через машини вологої і забрудненої сировини.

Для запобігання намотуванню волокнистих матеріалів на обертові вали машин необхідно вжити наступних заходів:

- захистити вали від безпосереднього зіткнення з оброблюваними волокнистими матеріалами шляхом застосування вільно насаджених втулок (рис. 6.26, а), циліндричних і конічних кожухів (рис. 6.26, б), кондукторів, направляючих планок, щитів, що захищають від намотування, і т.д.;
- установити мінімальні зазори між цапфами валу і підшипниками, не допускати збільшення зазорів;
- вести систематичне спостереження за валами, де може бути намотування, вчасно очищаючи їх від волокон;
- захистити вали спеціальними протинамотуючими гострими ножами, що розрізають намотуване волокно, якщо звичайними методами можливість намотування не виключається. Такий захист мають, наприклад, тіпальні машини льонозаводів.

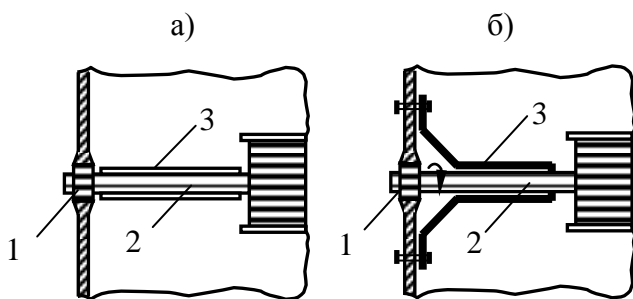


Рисунок 6.26 - Захист обертового валу від намотування волокнистих матеріалів

а - вільно насадженою втулкою; б - нерухомою конусною втулкою;  
1 - підшипник; 2 - вал; 3 - захисна втулка

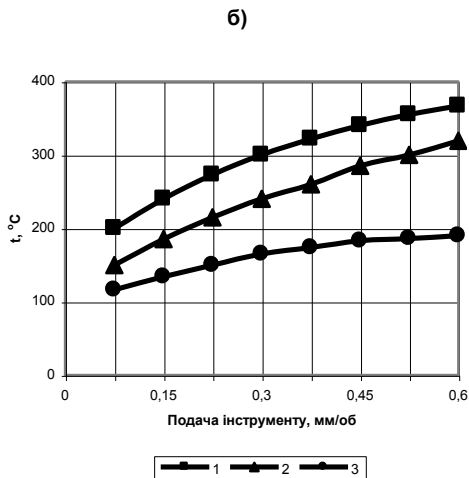
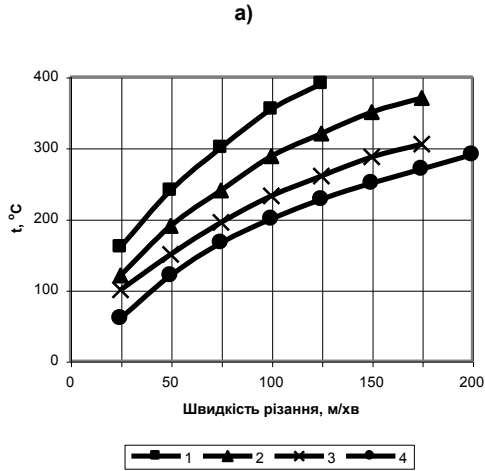


Рисунок 6.27 - Температурні режими різання пластмас:

а - у залежності від швидкості різання при подачі інструмента 0,2 мм/об і глибини різання 0,5 мм; б - у залежності від подачі інструмента за швидкості різання 45 м/хв і глибині різання 0,5 мм;

1 - карболіт марки К-17-2 і К-22-22; 2 - текстоліт; 3 - феноліт-4; 4 - органічне скло

При порушенні режиму механічної обробки небезпеку за-палювання представляють целулоїд, ебоніт, терморективні пла-стмаси, гума, магнієві сплави й інші подібні до них матеріали.

Так, у підвальному приміщенні одного машинобудівельного заводу організували виробництво вітрозакисних целулоїдних щитків для мотоциклів. Свердлення отворів і фрезерування целулоїду проводилося без охолодження ріжучого інструменту. Приміщення було перевантажено целулоїдом, відходи його регулярно не прибиралися. Під час свердлення від сильного нагрівання відбулося загоряння целулоїдних заготовок і відходів. Полум'я швидко поширилося по приміщенню. Горіння супроводжувалося виділенням великої кількості токсичних газів.

Щоб уникнути запалювання зазначених матеріалів при їхній механічній обробці, для кожного верстата необхідно ус-тановити режим різання (швидкість різання, величину подачі і т.п.) і точно його дотримуватись. Не можна допускати роботу тупими інструментами і використовувати верстати, не пристосовані для обробки даного матеріалу. Для охолодження матеріалів і інструменту в процесі різання і фрезерування вер-стата обладнують системою водяного охолодження. Систему подачі води блокують із системою пуску верстата для того, щоб виключити можливість пуску верстата в роботу при виключеній і несправній системі подачі води. Вода не тільки охолоджує матеріал й інструмент, але і видаляє з робочого місця пожежонебезпечні відходи у виді тирси, крихт і пилу, а також запобігає можливості утворення на матеріалі зарядів статичної електрики. Якщо хімічні властивості матеріалу (на-приклад, магнію, титану та їхніх сплавів) не дозволяють засто-совувати для охолодження воду, використовують іншу рідину або газ.

### **6.2.9 Нагрівання газів при стисненні їх у компресорах**

Зміна об'єму газоподібних тіл чи форми пластичних матеріалів вимагає витрат механічної енергії, при цьому

виділяється тепло, що нагріває речовину, а також конструктивні елементи компресорів і пресів. Процеси стиснення газів і пресування пластичних мас широко використовуються в народному господарстві. Компресорами створюють тиск, необхідний для транспортування газів по трубопроводах і для здійснення виробничих процесів. Багато виробничих операцій можуть протікати тільки при підвищеному і високому тиску газу (гідрогенізація жирів вимагає тиску водню 4 - 5 атм., наповнення балонів ацетиленом проводиться при тиску 25 - 30 атм., виробництво етилового спирту з етилену вимагає тиску 100 атм., синтез аміаку протікає при тиску азотно-водневої суміші до 300 атм., одержання поліетилену високого тиску – при тиску до 1500 атм. і т.д.).

Майже на усіх виробничих підприємствах є повітряні компресори для одержання стиснутого повітря (для передавлювання, перемішування, розпилення або пневматичного транспортування речовин, приведення в дію гальмових чи транспортуючих пристроїв і т.д.).

Практика експлуатації компресорів показала, що при несправностях і порушенні нормального режиму роботи можуть виникати спалахи, пожежі і вибухи не тільки при стисненні горючих газів, але і при стисненні повітря. Реальний процес стиснення газу, при якому одночасно зі зміною його об'єму і тиску змінюється температура і частина тепла передається в навколишнє середовище, є політропічним.

Однак з невеликим допущенням можна вважати, що процес стиснення газів компресорами є не політропічним, а адіабатичним. Оскільки при адіабатичному стисненні відсутні тепловтрати, то температура стиснутого газу наприкінці стиснення максимальна. Робота, затрачувана при адіабатичному стисненні газу, визначається за наступним рівнянням:

$$A = \frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right], \quad (6.37)$$

де  $A$  - робота, затрачувана на стиснення газу, кГм;  
 $p_1$  і  $p_2$  - початковий і кінцевий тиск газу, кГ/м<sup>2</sup>;  
 $V_1$  - початковий об'єм газу, м<sup>3</sup>;  
 $k$  - показник адіабати.

Підвищення температури газу при адіабатичному стисненні: дорівнює:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (6.38)$$

де  $T_1$  і  $T_2$  - температура газу до і після стиснення, °К.

При політропічному стисненні газу формули (6.37) і (6.38) залишаються такими само, тільки замість показника адіабати  $k$  буде показник політропи  $n$ , причому  $n = (0,7 \div 0,9)k$ .

Якщо тиск газу треба підвищити більш ніж у 4 - 5 разів, він стискується не відразу, а ступінчасто. Для поступового стиснення, газу використовують багатоступінчасті компресори з міжступінчастими водяними холодильниками (рис. 6.28). Це дозволяє знизити температурний режим роботи компресора і здійснити охолодження газу після кожного ступеня стиснення.

За нормального режиму роботи компресора і доброго стану холодильників температура газу в циліндрах не повинна перевищувати 140 - 160 °С. Збільшення тиску в циліндрах компресора понад установленого чи недостатнє охолодження газу перед надходженням на наступний ступінь, стиск може викликати підвищення температури. Тиск може підвищитися, якщо з якої-небудь причини зменшилася витрата газу, а продуктивність компресора не змінилася, якщо збільшилося

число ходів поршня або газ надходить з великим початковим тиском. Інтенсивність охолодження газу зменшується за недостатньої подачі холодної води в холодильники, відсутності контролю за її температурою чи в результаті сильного забруднення відкладеннями теплообмінної поверхні холодильників.

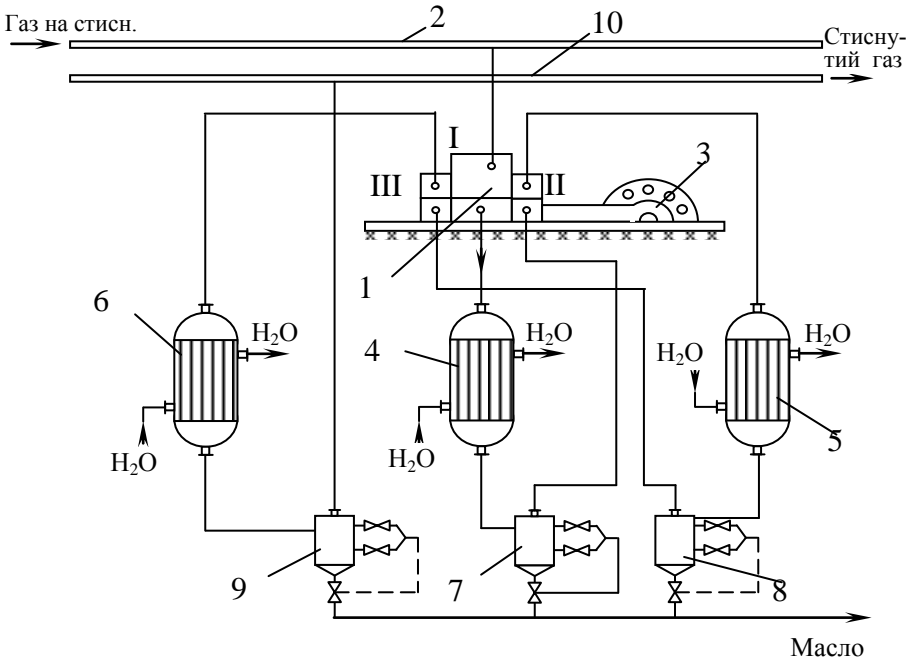


Рисунок 6.28 - Схема триступінчастого компресора

I, II, III - циліндри відповідних ступенів стиснення газу; 1 - багатоступінчастий компресор; 2 - колектор газу низького тиску; 3 - привід компресора; 4, 5, 6 - міжступінчаті холодильники газу; 7, 8, 9 - мастилозбірники; 10 - колектор стиснутого газу

Висока температура в компресорах, що нагнітають горючі гази, приводить до більш інтенсивного випаровування мастила і погіршення якості змащення, що викликає забруднення конденсатом і продуктами розкладання мастила поверхні

холодильників, знижує ступінь охолодження і тим самим сприяє ще більш сильному нагріванню газу. Усе це може викликати й утворення підвищених тисків, і механічні ушкодження компресора, у результаті чого горючий газ вийде в приміщення компресорної станції. Ушкодження газових компресорів нерідко відбувається при влученні в циліндри якої-небудь рідини. Оскільки рідини практично не стискаються, то влучення їх у циліндри приводить до утворення великих тисків і пошкодження компресора. Рідина (наприклад, конденсат) іноді попадає в циліндри компресора разом з газом, що надходить до нього. Поток газу в циліндри може бути видавлене мастило з міжступінчатих мастилозбірників, а за несправності теплообмінної поверхні міжступінчатих холодильників може потрапити вода.

У компресори паливий газ звичайно надходить без наявності в ньому вільного кисню, тому вибухонебезпечні суміші утворюються тільки в результаті підсмоктування повітря через нещільності у всмоктувальній лінії компресора, якщо вона знаходиться під розрідженням. Тому ймовірніше всього вибух і пожежа можуть відбутися в приміщенні компресорної станції внаслідок витоку горючого газу через нещільності сальників, фланцевих з'єднань або при аваріях.

Незважаючи на те, що повітряні компресори стискають і подають у трубопроводи не горючий газ, а повітря, у практиці мають місце їхні вибухи з наступними пожежами. Вибухи в повітряних компресорах відбуваються в результаті утворення вибухонебезпечних концентрацій парів і продуктів розкладання мастила з повітрям за одночасної наявності осередків самозаймання відкладень на поверхнях труб. Утворення ж парів мастила і продуктів його розкладання викликано високою температурою, причина якої — адіабатичне стиснення повітря.

Під впливом порівняно високої температури (150°C) частина мастила випаровується, розкладається й окислюється киснем стиснуваного повітря. Випаровуванню й окислюванню сприяє також розвита поверхня масляної плівки і суспензії. По-



дальше підвищення температури в компресорі різко збільшує інтенсивність процесу окислювання.

Дослідженнями встановлено, що в межі температур 150°C на кожні наступні 10°C підвищення температури процес окислювання прискорюється в 2 - 3 рази. Тепло, що при цьому виділяється, сприяє ще більш інтенсивному випаровуванню, розкладанню й окислюванню мастила. Продукти розкладання, окислювання і випари мастила виносяться повітрям з компресора, і частина з них відкладається на поверхні труб у виді масляного нагару. Таким чином, більш сприятливі для вибуху умови утворюються в нагнітальному повітропроводі, тому що процес окислювання мастила продовжується й у шарі, що відклався на стінках труб. У результаті окислювання температура відкладень поступово підвищується. Це приводить не тільки до додаткового виділення в стиснуте повітря парів мастила і продуктів його окислювання з утворенням вибухонебезпечних концентрацій, але й до утворення осередків самозаймання відкладень на трубах, тобто до вибуху. Самими небезпечними є ділянки трубопроводу від компресора до повітрозбірника і сам повітрозбірник. Вибухи найчастіше відбуваються при роботі компресорів на підвищених тисках.

При експлуатації компресорів для стиснення горючих газів і повітря уважно стежать за технічним станом і режимом їхньої роботи. Для контролю за тиском газу у всмоктувальній лінії і на виході зі ступенів стиснення встановлюють манометри, що автоматично попереджають про підвищення тиску понад установлену величину. При подальшому зростанні тиску в нагнітальній лінії чи падінні тиску у всмоктувальній лінії компресор автоматично зупиняється.

Крім манометрів чи регуляторів тиску газу, на нагнітальних лініях установлюють запобіжні клапани. Запобіжними клапанами захищають також повітрозбірники і колектори газу.

При роботі компресорів ведуть контроль за температурою газу й охолоджуючої води, не допускаючи перевищення її понад установлену норму.

При підвищенні температури газу понад норму чи припиненні подачі води в міжступінчаті холодильники компресори автоматично зупиняються. Для більш ефективного охолодження деякі повітряні компресори обладнують пристосуванням, що дозволяє впорскувати розпилену воду безпосередньо в робочі циліндри. Випаровування води значно знижує температуру повітря в циліндрах. При цьому зменшується потужність, затрачувана на стиснення газу, збільшується продуктивність компресора, зменшуються витрати на охолодження. Разом з тим, щоб уникнути ушкоджень від гідравлічних ударів не можна подавати воду слабо розпиленою і перевищувати норму її подачі.

Важливо установити і витримувати правильні норми витрати мастила. У практиці спостерігалися випадки, коли зниження витрати мастила в 2 рази, не відбиваючись на стані устаткування, давало зменшення відкладень у трубах у 20 - 30 разів. Для очищення стиснутого повітря і горючого газу від мастила після кожного ступеня стиснення встановлюють мастиловідокремлювачі. Мастиловідокремлювач повинен регулярно звільнятися від мастила, що нагромадилося в ньому. Нагнітальні труби компресорів варто систематично очищати від нагару і масляного конденсату.

Якщо у повітропроводах виявлені вогнища самозаймання мастила, то необхідно негайно вжити заходів до охолодження труби, зниження тиску в нагнітальному повітропроводі і після цього зупинити компресори.

У початковій стадії процес самозаймання можна «погасити», створюючи умови для більш інтенсивного охолодження труб (наприклад, шляхом підвищення швидкості руху повітря чи охолодженням поверхні труб водою).

При підвищенні температури чи припиненні подачі мастила до підшипників компресор повинен автоматично зупинитися. Мастило, використовуване для охолодження і змащення підшипників компресора, пропускають через сепаратори. У сепараторах відокремлюється горючий газ, що потрапив у масти-

ло. Щоб у самому сепараторі не утворилася вибухонебезпечна суміш, до нього підводять інертний газ.

Газові колектори і повітрозбірники розміщують поза приміщенням компресорної станції. Від сальників компресорів влаштовують місцеві відсоси горючих газів, що виділяються.

Кількаразові випадки вибухів спостерігалися при роботі кисневих компресорів. При цьому основна причина вибуху полягала в порушенні встановленої системи змащення, тобто коли застосовували не дистильовану воду, а мастило чи мильну емульсію зі значним вмістом у ній жирів. Змащення кисневих компресорів повинні робитися тільки дистильованою водою з додаванням не більше 10% гліцерину.

### **6.3 Теплові прояви хімічних реакцій**

Хімічні реакції, що протікають на повітрі з виділенням значної кількості тепла, містять у собі потенційну небезпеку виникнення пожежі чи вибуху, тому що при цьому можливий розігрів реагуючих речовин чи горючих речовин, які знаходяться поруч, до температури їхнього самоспалахування. В умовах виробництва і збереження хімічних речовин зустрічається велика кількість таких сполук, контакт яких з повітрям чи водою, а також взаємний контакт речовин одна з одною може бути причиною виникнення пожежі.

#### **6.3.1 Речовини, які самоспалахують та самозаймаються при контакті з повітрям**

Нерідко за умовами технології речовини, що знаходяться в апаратах, нагріті до температури, яка перевищує температуру їхнього самоспалахування. Так, наприклад, піролізний газ при одержанні етилену з нафтопродуктів має температуру самоспалахування в межах 530 - 550 °С, а виходить з печей піролізу з температурою 850 °С; мазут з температурою самоспалахування 380 - 420 °С на установках термічного крекінгу нагрівається до 500 °С; бутан і бутилен, що мають температуру самоспалаху-

вання відповідно 420 - 439 °С, при одержанні бутадієну нагріваються до 550 - 650 °С і. т. д. Природно, що поява нещільностей в апаратах та трубопроводах і зіткнення з повітрям продукту, що виходить назовні і нагрітий вище температури самоспалахування, супроводжується його загорянням. У деяких випадках використовувані в технології речовини мають дуже низьку температуру самоспалахування, навіть нижче температури навколишнього середовища. Так, наприклад, триетилалюміній ( $(C_2H_5)_3Al$ ) має температуру самоспалахування 68 °С, диетилалюмінійхлорид ( $(C_2H_5)_2AlCl$ ) - 60 °С, триізобутилалюміній ( $(iC_4H_9)_3Al$ ) - 40 °С, а фосфористий водень рідкий ( $P_2H_4$ ) і білий фосфор мають температуру самоспалахування нижче кімнатної температури.

Загоряння подібних речовин можна уникнути тільки шляхом забезпечення необхідної герметичності апаратів з виключенням контакту цих речовин з повітрям.

Велика група речовин, контактуючи з повітрям, здатна до самозаймання. Самозаймання подібних речовин починається чи при температурі навколишнього середовища, чи після деякого попереднього їхнього підігріву. Причини й умови самозаймання рідких і твердих речовин докладно розглянуті в багатьох монографіях і навчальних посібниках. До таких речовин відносяться рослинні олії і тваринні жири, кам'яне і деревне вугілля, сірчисті з'єднання заліза, деякі сорти сажі, порошкоподібні речовини (алюміній, цинк, титан, магній, торф, відходи нітрогліфталевих лаків та ін.), оліфа, скипидар, лакотканини, клейонка, гранітоль, сіно, силос і т.д. Пожежі і вибухи від самозаймання речовин у процесі збереження, сушіння, транспортування, при зупинці апаратів на чищення і ремонт відбуваються порівняно часто.

Так, на одному з заводів синтетичного каучуку в складі м'якої тари відбулося самозаймання мішків із тканини з нітролаковим покриттям. 135 тис. мішків зберігалося в двох штабелях висотою 2 — 2,5 м. У приміщенні складу було наявне парове опалення з температурою на поверхні радіаторів близько 175°С. Штабелі розміщалися поблизу від приладів опалення.

У суміжних секціях складу зберігалися балони з горючими газами, киснем, бочки з гідроперекисом ізопропілбензолу.

Тривалість процесу самозаймання речовин може обчислюватися як декількома хвилинами, так і багатьма годинами, оскільки швидкість окислювання горючих речовин залежить від багатьох факторів і за інших рівних умов — від кількості матеріалу (головним чином, від висоти купи або штабеля), початкової температури процесу й умов відводу в навколишнє середовище тепла, що виділяється при окислюванні. Тривалість процесу самозаймання деяких речовин можна розрахувати за наступною методикою:

$$\lg t = A_P - n_P \cdot \lg S ; \quad (6.39)$$

$$\lg t = A_B - n_B \cdot \lg \tau , \quad (6.40)$$

де  $t$  - початкова температура процесу самозаймання, град;

$\tau$  - тривалість процесу самозаймання, ч;

$S$  - питома поверхня штабеля, купи,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;

$A_P$ ;  $A_B$ ;  $n_P$  і  $n_B$  — константи, визначені дослідним шляхом; для досліджуваних речовин приведені в довідниковій літературі.

Використовуючи формули (6.39) і (6.40), можна визначити небезпечну температуру (тобто температуру початку саморозігріву), якщо відомі розміри штабеля і передбачуваний термін збереження даного матеріалу; можна визначити тривалість періоду безпечного збереження, знаючи розміри штабеля і початкову температуру речовини або оптимальні розміри перерізу штабеля в залежності від початкової температури і передбачуваної тривалості збереження речовини.

Контакт самозаймистих хімічних речовин з повітрям відбувається звичайно при ушкодженні тари, розливі рідини, розгерметизації речовин, при сушінні, відкритому збереженні твердих здрібнених, а також волокнистих, листових і рулонних матеріалів, при розкритті апаратів для огляду і ремонту, при відкачці рідин з резервуарів, коли усередині них наявні самозаймисті відкладення і т.д.

Найбільш специфічними для виробничої апаратури є випадки самозаймання відкладень сірчистих з'єднань заліза і термополімерів. Сірчисті з'єднання заліза утворюються в результаті хімічної взаємодії сірководню чи вільної сірки зі стінками сталевих апаратів. Цей процес протікає найчастіше при переробці і збереженні сірчистих нафт і нафтопродуктів, збереженні й очищенні природних і нафтових газів, одержанні й очищенні генераторних газів, водню, коксового газу і т.д.

Найбільш активним за схильністю до самозаймання є закисний сульфід заліза. Окислювання сірчистих з'єднань заліза починається з підсихання поверхні і контакту її з киснем повітря, при цьому температура поступово підвищується, з'являється блакитний димок, а потім невеликі язички синього полум'я. У результаті чого відкладення розігріваються іноді до температури 600 - 700 °С.

Уникнути самозаймання сірчистого заліза можна шляхом хімічного очищення від сірководню речовин, що надходять на обробку, а також поступовим окислюванням самозаймистих відкладень, що утворилися в апаратах. Повільне окислювання пірофорних (самозаймистих) з'єднань забезпечують добавкою невеликої кількості повітря (до 0,5%) до водяної пари, яка подається на продувку апаратів, чи шляхом заповнення апарата водою і поступовим зниженням її рівня. Очистку стінок апаратів варто вести при постійному змочуванні їх водою, а рештки зачищення відразу ж видаляти і піддавати знищенню.

Коли виробничий процес зв'язаний з використанням речовин, схильних до полімеризації, є можливість утворення так званих "термополімерів". Термополімери являють собою пухку, губчатої будови речовину, у складі якої є значна кількість невикористаних у процесі полімеризації кратних зв'язків. Наявність кратних зв'язків і розгалужена поверхня термополімеру визначають здатність цієї речовини до окислювання і самозаймання при зіткненні з повітрям. Термополімери утворюються в основному при порушенні температурного режиму й у застійних зонах (у місцях з незначною швидкістю руху продукту). Утворення термополімерів попереджають вве-

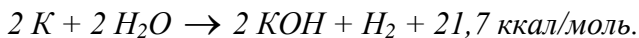
денням інгібіторів, дотриманням установлених температурних режимів, усуненням застійних ділянок і тупиків. Термополімери, що утворилися, видаляють з поверхні апаратів з такими само запобіжними заходами, як і при очищенні від сірчистих з'єднань заліза.

При використанні і збереженні самозаймистих речовин необхідно їх ізолювати від впливу повітря, а за неможливості цього — зменшити поверхню окислювання, створити умови, що сприяють збільшенню тепловіддачі, вводити інгібітори, що гальмують процес окислювання. Речовини цієї групи варто зберігати ізолювано від інших вогненебезпечних речовин.

### **6.3.2 Речовини, що самозаймаються при взаємодії з водою**

Значна кількість хімічних сполук взаємодіє з водою чи вологою повітря з певним екзотермічним ефектом. Тепло, що при цьому виділяється, може викликати запалювання горючих речовин, які примикають чи утворюються в зоні реакції. До речовин, що самозаймаються чи викликають горіння при зіткненні з водою, відносяться натрій, калій, карбід кальцію, карбіди лужних металів, негашене вапно, рубідій, силани, фосфористий кальцій, фосфористий натрій, сірчистий натрій, гідросульфід натрію і т.д.

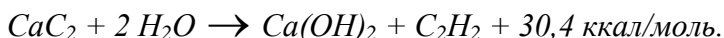
Багато які з цих речовин (лужні метали, карбіди і т.п.) при взаємодії з водою утворюють горючі газу, що можуть спалахнути від теплоти реакції. Так, наприклад,



Водень, що виділяється при реакції, спалахує. Разом з воднем починають горіти і пари металів.

При взаємодії невеликої кількості (3 - 5 г) калію і натрію з водою розвивається температура вище 600 - 650 °С. Якщо взаємодіють більш великі шматки, часто відбуваються вибухи з розбризкуванням розплавленого металу. У мілко подрібненому стані лужні метали спалахують у вологому повітрі. Сильне

розігрівання може відбутися при взаємодії карбіду кальцію з водою:



Для розкладання 1 кг хімічно чистого карбіду кальцію необхідно 0,562 кг води. За такої чи меншої кількості води в зоні реакції розвивається температура до 800 - 1000 °С. При цьому куски карбіду кальцію можуть розжарюватися до світіння. Природно, що в таких умовах ацетилен, що утворюється, на повітрі спалахує, тому що його температура самоспалахування дорівнює 335°С. За великої кількості води ацетилен не спалахує, тому що тепло реакції поглинається водою. Карбіди лужних металів ( $\text{Na}_2\text{C}_2$  і  $\text{K}_2\text{C}_2$ ) при зіткненні з водою реагують з вибухом.

Деякі речовини з даної групи самі є негорючими (наприклад, негашене вапно), але теплота їх реакції з водою може нагріти дотичні горючі матеріали до температури самоспалахування. Так, при контакті невеликої кількості води з негашеним вапном температура суміші може досягти 600 °С, при цьому відбудеться запалювання деревини чи мішковини:



Відомі випадки пожеж дерев'яних складів, у яких зберігалося негашене вапно. Пожежі виникали, як правило, невдовзі після дощу. Вода потрапляла на негашене вапно через несправний дах чи через щілини підлоги.

При взаємодії силіцидів з водою виділяється кременистий водень, що самозаймається при зіткненні з повітрям.

У вологому стані гідросульфід натрію і сірчистий натрій інтенсивно окислюються на повітрі з виділенням вільної сірки і великої кількості тепла. Тепло, що виділяється, нагріває сірку до запалювання (при вологості 10% запалювання сірки настає за температури 242 °С).

Дуже небезпечний контакт алюмінійорганічних сполук з водою, тому що триетилалюміній, диетилалюмінійхлорид, триізобутилалюміній та інші подібні їм речовини взаємодіють з



водою з вибухом. Слабкі розчини зазначених сполук при взаємному контакті з водою розкладаються з утворенням вуглеводних газів, здатних утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Можуть зустрітися й інші, у тому числі нові речовини, що за своїми властивостями будуть не менш небезпечними, ніж наведені вище.

Контакт речовин з водою чи вологою повітря відбувається при ушкодженні апаратів і трубопроводів, за несправності тари, а також при відкритому збереженні речовин (негашене вапно, карбід кальцію). Вода може потрапити в приміщення через відкриті прорізи в стінах, за несправності покриття чи підлоги, при ушкодженнях водопровідних ліній і систем водяного опалення, конденсації вологи з повітря при зниженні його температури і т.п. Вибухи чи посилення пожежі, що виникла, можуть мати місце при спробах гасити подібні речовини водою або піною.

При збереженні і використанні таких речовин їх необхідно захищати від потрапляння води і від впливу повітря підвищеної вологості. Зберігають речовини цієї групи ізолювано від інших вогнебезпечних речовин.

### **6.3.3 Речовини, що спалахують при взаємному контакті одна з одною**

При виробництві і збереженні різних хімічних речовин пожежі і вибухи можуть виникати в результаті їхньої взаємодії одна з одною. Найчастіше такі випадки відбуваються при впливі окислювачів на органічні речовини. Такими окислювачами можуть бути хлор, бром, фтор, окисли азоту, азотна кислота (особливо 98%-на і з розчиненими окислами азоту), перекису натрію, барію і водню, хромовий ангідрид, двоокис свинцю, хлорне вапно, рідкий кисень, селітри (солі азотної кислоти, наприклад, азотнокислий калій, азотнокислий натрій, азотнокислий барій, азотнокислий кальцій), хлорати (солі хлорноватої кислоти, наприклад, бертолетова сіль), перхлорати

(солі хлорної кислоти, наприклад, хлорнокислий натрій), перманганати (солі марганцевої кислоти, наприклад, марганцевокислий калій), солі хромової кислоти й ін.

Перераховані окислювачі в більшості випадків викликають займання органічних речовин при змішанні чи зіткненні з ними. Багато які з них (селітри, хлорати, перхлорати, перманганати, солі хромової кислоти), крім того, здатні утворювати суміші з іншими органічними речовинами, що вибухають від незначного механічного чи теплового впливу. Деякі суміші окислювачів і горючих речовин здатні спалахувати при дії на них сірчаної або азотної кислоти чи невеликої кількості вологи.

Алюмінійорганічні сполуки, про які вже говорилося в попередніх параграфах, з кислотами, спиртами і лугами реагують з вибухом. Неможливість гасіння алюмінійорганічних сполук звичайними засобами пожежогасіння привела ВНДПО до необхідності розробити спеціальний вогнегасний порошковий склад.

Багато ініціаторів, каталізаторів і пороутворювачів, із широко використовуються у виробництві синтетичних смол, пластичних мас, синтетичних волокон і каучуку, викликають запалювання і вибухи при взаємодії з іншими речовинами. Пожежонебезпечні властивості деяких ініціаторів і пірофорів зазначені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 - Пожежонебезпечні властивості ініціаторів

Речовина	Пожежонебезпечні властивості
ЧХЗ-5 (метилуретанбензолсульфогідразид)	Горюча речовина. Температури: запалювання 138 °С, самоспалахування 360 °С. У суміші із сильними окислювачами здатний вибухати.
ЧХЗ-18 (динітрозопентаметилентетрамін)	Нестійка горюча речовина. Температури: запалювання 124 °С, самоспалахування 193 °С. Дає спалах у суміші з кислотами і лугами, вибухає із сильними окислювачами, чутливий до удару.
ЧХЗ-57	Чутливий до впливу температури, тертя,

(азодинітрлізіомасляної кислоти)	удару. Температури: запалювання 60 °С, самоспалахування 240 °С. При контакті з кислотами вибухає.
Персульфат амонію (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Біла кристалічна речовина, розчиняється у воді і розкладається на повітрі. Сильний окислювач. Розкладається при 120 °С. У суміші з органічними сполуками може викликати вибух.
Персульфат калію K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Кристалічна речовина, сильний окислювач. Активно окислює органічні сполуки, викликає загоряння папіру, тканини, деревини. Розкладається - при 70 °С.
Перекис бензолу (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CO) <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Вогне- і вибухонебезпечна кристалічна речовина. При нагріванні в сухому стані вибухає. Зберігається у вологому стані.
Перекис водню H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (концентрована) ний)	Безбарвна, масляниста рідина, сильний окислювач. Дуже нестійка, розкладається з вибухом. У концентрованому виді викликає загоряння всіх органічних речовин.
Гідроперекис ізопропілбензолу C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> C(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> OOH (гіперіз)	Отруйна, горюча і вибухонебезпечна рідина. При нагріванні до 120 °С розкладається з вибухом. Вибухає в суміші з деякими органічними речовинами і солями.

Так, наприклад, на одному з заводів синтетичного каучуку відбувся вибух ємності з гідроперекисом ізопропілбензолу (гіперізом), що викликав ушкодження виробничих комунікацій, фасадної стіни будинку і сходової клітини. Гіперіз, використовуваний як ініціатор при виробництві бутадієнстирольного каучуку, надходив на завод у металевих бочках і перекачувався по гумовому шлангу в прийомну ємність. Біля бочок з гіперізом знаходилися бочки з триетаноламіном.

Помилково в ємність з гідроперекисом стали накачувати триетаноламін. Сталася бурхлива реакція, що викликала розк-

ладання всієї маси гідроперекису з зазначеними вище наслідками.

Реакціям взаємодії окислювачів з горючими речовинами сприяють подрібненість речовин, якість змішання, підвищена початкова температура, а також наявність ініціаторів хімічного процесу взаємодії речовин. У деяких випадках реакції носять характер вибуху.

Подібного роду окислювачі не можна зберігати разом з іншими горючими речовинами, не можна допускати якогонебудь контакту між ними, якщо це не обумовлено характером технологічного процесу.

#### **6.3.4 Речовини, здатні до саморозкладання з запалюванням при нагріванні або механічних впливах**

Деякі хімічні речовини нестійкі за своєю природою, вони здатні розкладатися з часом чи під дією температури, тертя, удару й інших факторів. До цієї групи речовин відносяться, як правило, ендотермічні сполуки, тому процес їхнього розкладання зв'язаний з виділенням більшої чи меншої кількості тепла. У цю групу входять вибухові речовини, селітри, перекиси, гідроперекиси, карбіди деяких металів, ацетиленіди, ацетилен, диацетилен, пірофори і багато інших речовин. Так, наприклад, при розкладанні озону виділяється 34 ккал/моль, окису хлору - 36 ккал/моль, перекису водню 47 ккал/моль, ацетилену - 54,2 ккал/моль і т.д.

Порушення технологічного регламенту при виробництві, використанні або збереженні таких речовин, вплив на них поблизу розташованих джерел тепла (наприклад, приладів опалення, гарячих продуктопроводів) і особливо теплоти можливої пожежі, можуть привести до вибухового розкладання сполук та ініціювати нову чи підтримати розвинену пожежу.

Подібні випадки неодноразово спостерігалися при здійсненні процесів нітрації органічних сполук, одержанні перекисів і гідроперекисів, ацетилену і т. п.

На одному з нафтохімічних підприємств відбувся вибух ректифікаційної колони з одержання гідроперекису

ізопропілбензолу. Силою вибуху колону (висота 13 м, діаметр 2,2 м) зірвало з фундаменту відкритої площадки і відкинуло убік. Виникла пожежа. Перед аварією установка знаходилася в стані пуску після монтажу і будівельних робіт. У процесі пуску відбулося замерзання води в системі заохолодження (відвід надлишкової кількості тепла з зони хімічної реакції), що викликало підвищення температури в нижній частині колони до 99°C (замість зазначених у регламенті 90°C), розкладання гіперізу і вибух.

Відомі випадки, коли пожежа приводила до вибухового розкладання продукту, що знаходився в апаратах, викликаючи потужні вибухи устаткування з повним руйнуванням установки й ушкодженням апаратів сусідніх установок.

Подібна аварія відбулася на одній з установок для одержання ароматичних вуглеводнів з легкого бензину з використанням розчинника ЛТІ. Розчинник ЛТІ є горючою рідиною, що при 210—230°C повільно розкладається, а при 240°C закипає з бурхливим розкладанням. Нагрівання в замкнутих об'ємах приводить до розкладання з вибухом.

Аварія почалася з запалювання рідини, що виходила з несправного сальника насоса. Горіння розлитого біля насоса ЛТІ привело до розкладання рідини в трубах, їхнього руйнування і посилення пожежі. Наступне горіння викликало вибухи ЛТІ в чотирьох ректифікаційних колонах з повним їхнім руйнуванням (висота колон від 25 до 40 м, діаметри до 3 м і товщина корпусу до 15 мм). Частини колон і окремі деталі апаратів силою вибуху були розкидані по території на великій відстані з ушкодженням апаратів сусідніх установок.

Схильність до вибухового розпаду під дією підвищеного тиску і температури має, як відомо, ацетилен. Наявність в ацетилені діацетилену ( $\text{C}_2\text{H}_2$  –  $\text{C}_4\text{H}_2$ ) і вищих поліацетиленів підсилює небезпеку вибухового розкладання газу. Діацетилен — вибухонебезпечний горючий газ, від іскри і нагрітого тіла запалюється з вибухом. Близько 12 % діацетилену робить ацетилен здатним до вибухового розкладання навіть при нормальному тиску. Не меншу небезпеку має

бутиндіол ( $\text{HOH}_2\text{C} - \text{C}\equiv\text{C} - \text{CH}_2\text{OH}$ ). Це горюча речовина з температурою самоспалахування  $343\text{ }^\circ\text{C}$ . Горіння протікає із сильним вибухом. При нагріванні, перегонці, взаємодії з лугами, галогенами і солями важких металів відбувається вибухоподібне розкладання бутиндіолу.

Усі зазначені і подібні їм речовини в процесі одержання, використання і збереження повинні бути захищені від впливу високих температур, підвищених тисків, ударів і т.п., необхідно точно дотримуватись устанавленого технологічний режиму, звертаючи особливу увагу на своєчасність, інтенсивність і рівномірність відводу надлишкового тепла.

Нестійкі хімічні речовини, здатні до загоряння і вибуху при нагріванні і механічних впливах, не можна зберігати разом з іншими горючими речовинами. Сумісність хімічних речовин при їхньому збереженні і протипожежні вимоги до складів хімічних речовин регламентуються відповідними нормами і правилами.

#### **6.4 Тепловий прояв електричної енергії**

Джерела запалювання від теплового прояву електричної енергії можуть виникнути при невідповідності електроустаткування (машин, двигунів, мереж, перетворювачів, пускорегулюючих приладів, електричних пристроїв у технологічних апаратах і т.п.) характеру середовища, що впливає на нього, у випадку недотримання правил улаштування та експлуатації електроустаткування, при несправностях і ушкодженнях, викликаних механічними причинами, а також дією хімічно активних речовин, вологи і т.п. Теплова дія електричного струму може проявитися у виді електричних іскор і дуг (при коротких замиканнях, пробоях шарів ізоляції і т.п.), надмірного перегріву двигунів, машин, контактів, окремих ділянок електричних мереж і електричного устаткування, а також апаратів при перевантаженнях і великих перехідних опорах, у виді перегріву в результаті теплового прояву струмів індукції і самоіндукції, при іскрових розрядах статичної й атмосферної електрики, у

результаті нагрівання речовини і матеріалів від діелектричних втрат енергії.

При короткому замиканні провідників електричного струму чи замиканні на землю утворюються електрична дуга, іскри і виділяється велика кількість тепла. Коротке замикання може викликати загоряння ізоляції, розплавлення провідників чи деталей електричних машин і апаратів з розбризкуванням часточок розплавленого металу.

Замикання й іскрові пробої між обкладинками конденсаторів, між електродами апаратів і приладів (наприклад, між електродами електродегідраторів установок електрознесолювання і зневоднювання нафти) можуть привести до ушкоджень герметичних апаратів і запалювання горючих речовин.

Перевантаження електричних мереж і машин викликається збільшенням механічного навантаження на електродвигуни, а також підключенням до електричних мереж додаткових струмоприймачів, на які мережі не розраховані. Збільшення сили струму в мережах і машинах приводить до виділення великої кількості тепла, загоряння ізоляції. Небезпечні наслідки перевантаження спостерігаються при неправильно обраному чи несправному захисті мереж плавкими вставками або автоматами.

Перехідні опори виникають найчастіше в місцях, де проводи і кабелі неякісно приєднуються до машин і апаратів або струмопровідні жили з'єднуються одна з одною холодною скруткою, а також у місцях поганого контакту металевих предметів, по яких протікають струми витоку. У місцях перехідних опорів виділяється значна кількість тепла. Від нагрівання місць перехідних опорів може зайнятися електроізоляція, а також горючі речовини, що знаходяться поруч.

Розряди статичної електрики можуть утворитися при переміщенні рідин, газів і пилів, при ударах, здрібнюванні, розпиленні і подібних процесах механічного впливу на матеріали і речовини, що є діелектриками. Іскрові розряди статичної електрики можуть запалити паро-, газо- і пилоповітряні суміші. Нагромадженню високих потенціалів

статичної електрики і формуванню іскрових розрядів сприяють відсутність чи неефективність спеціальних мір захисту від статичної електрики, неефективність або несправність заземлюючих пристроїв, утворення електроізоляційного шару відкладень на заземлених поверхнях, порушення режимів роботи апаратів (збільшення швидкості руху речовин, падіння струменя з висоти, забруднення рідин, що рухаються, чи наявність на їхній поверхні яких-небудь плаваючих тіл і т.п.).

Блискавки й іскрові розряди від впливу атмосферної електрики. Відсутність, несправність чи неправильна експлуатація систем блискавкозахисту будинків, споруд і зовнішніх установок у зонах активного прояву грозової діяльності можуть викликати ураження їх прямими ударами блискавки, особливо за наявності масивних високих металевих конструкцій або апаратів зі стравлюючими лініями і повітропроводами.

Індукційний і електромагнітний вплив атмосферної електрики сприяє появі значних електричних потенціалів на виробничому устаткуванні, трубопроводах, будівельних конструкціях. Відсутність чи несправність систем заземлення апаратів і конструкцій, відсутність перемичок між трубопроводами можуть привести до утворення небезпечних іскрових розрядів.

У деяких випадках запалювання горючих речовин відбувається в результаті індукційного і діелектричного нагрівання. Так, при впливі змінних магнітних полів відбувається нагрівання до високої температури металевих часток, що опинилися, наприклад, у деревині при сушінні її струмами високої частоти. Крім того, можуть бути місцеві перегріву діелектриків, що потрапили під вплив перемінного електричного поля (наприклад, наявність сильно сучкуватих, смолистих дощок при сушінні деревини струмами високої частоти).



### **Контрольні питання:**

1. Назвіть випадки коли нагріте тіло може бути джерелом запалювання для даної горючої речовини.
2. Назвіть параметри, що характеризують джерело запалювання.
3. Приведіть класифікацію джерел запалювання.
4. Визначте загальні підходи до запобігання утворення в горючому середовищі джерела запалювання.
5. За допомогою чого досягається попередженням небезпечного прояву іскор топок і двигунів внутрішнього згоряння?
6. Чим обумовлена пожежна небезпека вогневих робіт?
7. Наведіть приклади джерел вогню, не викликаних потребами технології виробництва.
8. Назвіть основні причини утворення іскор при роботі топок.
9. Типи та способи застосування іскроуловлювачів.
10. Принцип роботи іскроуловлювачів інерційної дії.
11. Наведіть приклади джерел запалювання у вигляді теплових проявів механічної енергії.
12. З якого матеріалу інструменти вважаються іскробезпечними?
13. Назвіть заходи запобігання утворення іскор при влученні в машини металу або каміння.
14. Наведіть приклади джерел запалювання у вигляді теплових проявів хімічних реакцій.
15. Наведіть приклади джерел запалювання від теплових проявів електричної енергії.

## **ГЛАВА 7. ЗАПОБІГАННЯ ПОШИРЕННЮ**

### **ПОЖЕЖІ НА ВИРОБНИЦТВІ**

Розглянуті у попередніх розділах умови та причини утворення горючого середовища та виникнення джерел запалювання, характеризують лише одну із сторін пожежної небезпеки, а саме - можливість виникнення пожежі та вибуху. Іншою стороною цього питання є виявлення причин та шляхів розвитку можливої пожежі. Ці причини безумовно визначають масштаби пожежі та матеріальні збитки.

Пожежа, що виникла, може швидко поширитись, набрати великих розмірів та спричинити значних збитків, але тільки у тому випадку, якщо для цього будуть відповідні умови. Коли немає таких умов для поширення пожежі в усіх напрямках, вогонь не вийде за межі певної ділянки і збитки від такої пожежі будуть мінімальними.

#### **7.1 Причини та умови поширення пожежі**

На виробництвах з пожежовибухонебезпечними технологічними процесами майже завжди існують умови для швидкого поширення пожежі. Це пояснюється не тільки наявністю у виробничих приміщеннях і на відкритих площадках великої кількості легкозаймистих та горючих речовин, а й відсутністю відповідних протипожежних перешкод на шляхах можливого поширення пожежі (по розгалужених комунікаціях продуктопроводів, в транспортних системах, в отворах будівельних конструкцій, по вентиляційних та аспіраційних системах тощо).

Необхідність приділити більше уваги питанням створення умов, які забезпечать локалізацію пожежі в межах ділянки її виникнення, визначається тим, що кожного року на промислових підприємствах, матеріальних складах виникають значні

пожежі, які призводять до великих матеріальних збитків, а іноді й до загибелі людей.

**Поширенню пожежі, яка виникла, будуть сприяти наступні умови:**

- наявність значної кількості горючих речовин та матеріалів на виробничих та складських площах;

- наявність шляхів, які створюють можливість поширенню полум'я і продуктів згорання на обладнання та приміщення, що розташовані поблизу;

- поява в результаті пожежі факторів, які прискорюють її розвиток (розтікання горючих рідин під час аварії, вихід горючих газів, вибух технологічного обладнання тощо);

- запізніле виявлення пожежі та сповіщення про неї у пожежну частину;

- відсутність або несправність первинних і стаціонарних засобів пожежогасіння;

- неправильні дії людей на випадок пожежі.

Велика кількість горючих речовин та матеріалів в апаратах, ємностях, біля робочих місць чи на відкритих площадках пояснюється вимогами виробництва для нормального ведення технологічних процесів. У процесі експлуатації іноді виникає безпідставне збільшення запасів горючих речовин на складах та у виробничих приміщеннях. Перевантаження призводить до того, що проходи між технологічним обладнанням, шляхи до засобів пожежогасіння, евакуаційні виходи захаращуються горючими матеріалами.

Іншою причиною швидкого поширення пожежі є наявність у виробничих приміщеннях різних технологічних комунікацій (трубопроводів, систем вентиляції) та технологічних отворів без протипожежних перешкод. У цьому випадку вогонь безперешкодно може розповсюджуватись від одного апарата до іншого, з одного приміщення в інше.

Сприятливі умови для швидкого поширення полум'я на значні площі виникають під час аварій апаратів і трубопроводів при розтіканні горючих та легкозаймистих рідин, при загазованості приміщень, відкритих установок та територій.

Для попередження поширення пожежі на виробництві необхідно розробляти та впроваджувати такі інженерно-технічні рішення, які б дозволили обмежити кількість горючих речовин та матеріалів, що обертаються у виробництві, створити умови для швидкої евакуації матеріалів та обладнання при виникненні пожежі; створити перешкоди на шляхах поширення можливої пожежі і забезпечити захист апаратів від руйнування під час вибуху.

## **7.2 Обмеження кількості горючих речовин та матеріалів на виробництві**

Зменшення кількості горючих речовин та матеріалів, які одночасно обертаються в технологічному процесі, не тільки створює умови для обмеження можливості поширення пожежі, а й знижує імовірність її виникнення. Ці питання повинні розглядатися та впроваджуватись як на стадії проектування, так і під час експлуатації виробництва.

### **7.2.1 Зменшення кількості горючих речовин на стадії проектування виробництва**

Задача зменшення кількості горючих речовин на виробництві вирішується на всіх стадіях проектування, починаючи з вибору методу виробництва, розробки технологічної схеми і проектних матеріалів, а також безпосередньо під час експлуатації підприємства.

На стадії проектування існує три основних напрямки розробки рішень щодо зниження кількості горючих речовин в технології виробництва (рис.7.1):

- вибір способу або методу виробництва;
- розробка технологічної схеми виробництва;
- вибір варіанту розміщення технологічного обладнання.

**Вибір способу або методу виробництва.** Кількість речовин, що обертаються у виробництві, залежить, зокрема, від методу здійснення технологічного процесу та його технологічної

схеми. В сучасних технологіях неважко отримати кінцеву речовину (продукт) різними способами і з різної сировини. Так наприклад, синтетичний етиловий спирт отримують прямою та сірчаноокисотною гідратацією етилену. Бутадієн можна отримати з етилового спирту, а також дегідруванням бутану, який є продуктом переробки нафти.

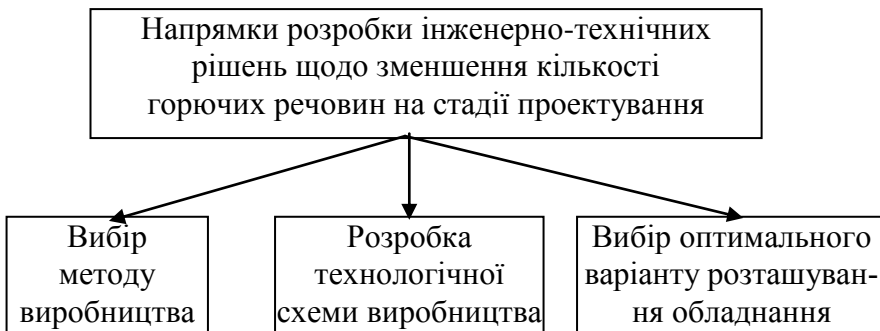


Рисунок 7.1- Основні напрямки розробки інженерно-технічних рішень щодо зменшення кількості горючих речовин на стадії проектування

Коли обґрунтовують нові методи виробництва будь-якої речовини, необхідно враховувати не тільки їх ефективність та економічність, але й пожежовибухонебезпеку. Відомо, що пентафтен виготовляють, застосовуючи велику кількість толуолу в якості розчинника. Якщо змінити технологію виробництва і замість аміду натрію використовувати їдкий натр, то толуол буде повністю виключений з технологічного процесу.

Таким чином, за різних рівних умов для проектної розробки приймають той метод, при якому використовується більш пожежовибухобезпечна сировина і витрати якої на одиницю готової продукції менші.

**Розробка технологічної схеми виробництва.** Великі можливості з точки зору підвищення пожежної безпеки вироб-

ництва (зменшення кількості горючих речовин) мають проектні та науково-дослідні організації на стадії розробки принципової технологічної схеми.

Паралельно з розробкою технологічної схеми виробництва виконують основні технологічні розрахунки. На підставі розрахунків визначають розміри і кількість стандартного та нестандартного обладнання

Існують деякі загальні умови, які зменшують пожежонебезпеку технологічної схеми виробництва. Так, замість апаратів і процесів, що діють періодично, доцільно застосовувати апарати та процеси безперервної дії.

Крім цього необхідно виключати із схеми проміжні ємнісні апарати, напірні баки, рефлюксні ємності і тому подібні апарати, замінити їх на автоматичні регулятори тиску і витрати, автоматичні живильники, лічильники-дозатори безперервної дії тощо. Коли не можливо повністю виключити вищевказані апарати з технологічного процесу, то кількість їх зводять до мінімуму.

Наприклад, у процесі виробництва продуктів органічного синтезу використовують у великій кількості різноманітні горючі та легкозаймисті рідини (ГР, ЛЗР) у якості поглиначів (абсорбентів) або розчинників. В багатьох випадках різноманітність поглиначів і розчинників можна скоротити без збитків для виробництва. Відповідно не буде необхідності в організації окремих сховищ для розміщення запасів кожного виду рідин, а також зменшується кількість установок для регенерації, а також насосів для перекачування цих вибухопожежонебезпечних рідин.

Замість горючих скраплених газів і ЛЗР (пропану, аміаку, ізопентану тощо), які використовуються з метою охолодження апаратів, доцільно застосовувати негорючі розсоли чи фреони. Прагнуть також застосовувати менше пожежонебезпечні каталізатори та ініціатори.

У деяких випадках здійснення хімічної реакції потребує розбавлення речовин, що реагують, якимось газом чи паром для того, щоб забезпечити протікання хімічної реакції у

потрібному напрямку, збільшити вихід кінцевого продукту або зменшити утворення побічних продуктів.

Всі ці дії призведуть до значного зниження кількості горючих та легкозаймистих рідин, що обертаються в технологічному процесі, а також взагалі до зниження пожежної небезпеки.

**Вибір оптимального варіанту розташування технологічного обладнання.** Для можливості зниження пожежної небезпеки виробництва та враховуючи питання економіки, технологічні апарати і споруди доцільно розташовувати на відкритих площадках та етажерках (за умови можливості використання технологічного обладнання). Раціональне розміщення апаратів і трубопроводів знижує кількість горючих речовин та матеріалів, а також зменшує необхідну потужність агрегатів, що беруть участь у процесі транспортування (насосів, компресорів).

За необхідністю використання у технологічному процесі ємностей з горючими газами їх, як правило, розташовують на відкритих площадках або на проміжних складах.

Одним із напрямків, що застосовують для обмеження поширення можливої пожежі, є обмеження виробничих площ приміщень і відкритих установок, в залежності від категорії приміщень і будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, а також ступеню вогнестійкості будівлі.

Крім цього ізолюють технологічне обладнання в окремих відсіках, приміщеннях, кабінах тощо. Технологічне обладнання (виробничих приміщень та будівель, які відносяться до вибухопожежонебезпечних категорій) необхідно розташовувати на верхніх поверхах багатоповерхової виробничої будівлі. На промислових підприємствах, наприклад, нафтопереробних заводах технологічне обладнання компонують та поділяють на виробничі блоки (блок трубчастих печей, блок атмосферно-вакуумної трубчатки, блок теплообмінників тощо). Між виробничими будівлями, спорудами, технологічними установками та окремими апаратами влаштовують протипожежні розриви.

## 7.2.2 Зменшення кількості горючих речовин в період експлуатації виробництва

Для нормального ведення технологічного процесу виробництва необхідно в апаратах та біля робочих місць мати визначену кількість сировини та напівфабрикатів, яка залежить не тільки від продуктивності апаратів, а й від організації технологічного процесу.

Недосконала технологія й організація технологічного процесу, а також недостатній контроль за станом пожежної безпеки призводять до значного накопичення горючих речовин у виробничих приміщеннях та на складах.

Для зниження кількості горючих речовин за нормального проходження технологічного процесу застосовують наступні інженерно-технічні рішення (рис.7.2):

- захист виробничих приміщень та складів від перевантаження речовинами;
- заміна горючих речовин негорючими;
- зменшення кількості горючих відходів виробництва.

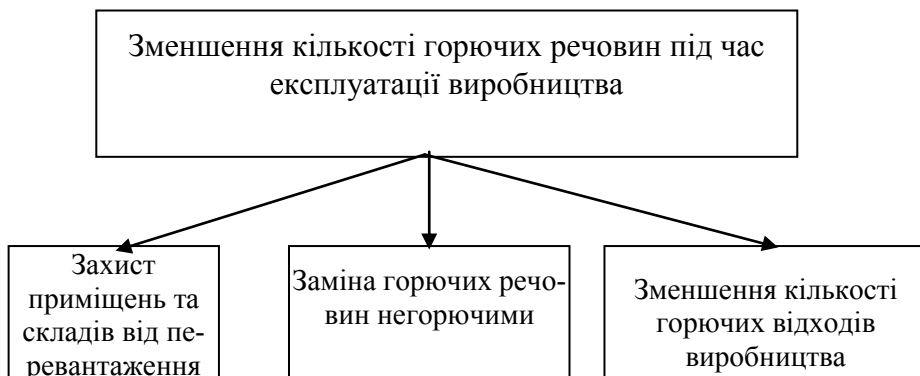


Рисунок 7.2- Інженерно-технічні рішення щодо зменшення кількості горючих речовин під час експлуатації виробництва

**Захист виробничих приміщень та складів від перевантаження речовинами.** Під час нормальної експлуатації виробництва для роботи окремого апарата (верстата) або установки



необхідно мати певну кількість вихідної сировини (горючого газу, легкозаймистої чи горючої рідини або твердих горючих речовин), які можуть знаходитись безпосередньо у виробничому приміщенні (цеху, ділянці) чи на складах сировини. Горючі речовини можуть накопичуватись на кінцевих стадіях технологічного процесу у вигляді готової продукції або напівфабрикатів. Загальна кількість горючих речовин та матеріалів, що накопичуються, залежить від продуктивності технологічного обладнання, а також організації ведення технологічного процесу (комп'ютеризації, автоматизації, механізації тощо). У кожному конкретному випадку встановлюють максимально допустиму норму горючого навантаження виробничих та складських приміщень шляхом обмеження кількості виробів, які одночасно знаходяться у приміщенні. Наприклад, можна обмежити кількість великогабаритних виробів (зборка або обробка літаків, вагонів тощо), яка встановлюється візуально.

Обмеження кількості горючих речовин і матеріалів за площею, яка відводиться для їх розміщення, застосовується для всіх виробничих приміщень, де наявні тверді горючі речовини (вироби), рідкі та газоподібні речовини в ємностях, штучна та розфасована продукція в тарі тощо. Тобто приміщення можна вважати нормально завантаженим, якщо сировина, напівфабрикати та готова продукція, що знаходяться в ньому, не заважають проходити до виробничого обладнання, засобів пожежогасіння, евакуаційних виходів тощо.

**Заміна горючих речовин негорючими.** Поширення пожежі на виробництві може бути обмежене шляхом заміни горючих речовин, що обертаються у виробництві, негорючими. На стадії проектування того чи іншого виробництва проєктувальники повинні включати до технологічного процесу менш небезпечні у пожежному відношенні речовини, а найбільш вибухопожежонебезпечні матеріали - взагалі не використовувати.

Так, наприклад, якщо це можливо за умовами технології, то для зменшення пожежної небезпеки (підвищення температури

ри спалаху) в легкозаймисті розчинники можна добавляти галоїдовані вуглеводні або замінити ними ЛЗР повністю (дихлорметаном, трихлоретаном, трихлоретиленом). Для просочування електроізоляційних матеріалів замість лаку на спиртовій основі, на бензолі чи ацетоні можна застосовувати лаки, які розчиняються у воді (бакелітові, водоемульсійні, масляно-смоляні).

На промислових та сільськогосподарських підприємствах під час проведення операцій із знежирювання та промивки деталей замість легкозаймистих розчинників застосовують розчини тринатрій фосфату, рідкого скла і кальцінованої соди, їдкого натру та інші сполуки з додаванням поверхнево активних речовин. На деяких підприємствах очищення проводять за допомогою ультразвуку.

Проблема зниження пожежної небезпеки речовин, що використовуються у виробництві, повинна вирішуватись не тільки на стадії проектування, а й на діючих підприємствах у процесі їх експлуатації.

**Зменшення кількості горючих відходів виробництва.** Процеси обробки деревини, пластмас, бавовни, льону, процеси подрібнення і розмелу твердих речовин, очищення злаків супроводжуються утворенням відходів у вигляді пилу, стружки, тирси. На території таких підприємств накопичується значна кількість горючих відходів (у виробничих приміщеннях, на обладнанні, на будівельних конструкціях). Зменшення кількості горючих відходів у виробничих приміщеннях досягається застосуванням раціональних методів обробки твердих речовин, уловлюванням відходів, що утворюються безпосередньо поблизу робочих місць, а також регулярним прибиранням виробничих приміщень.

Кількість відходів може бути зменшена шляхом правильного підбору розмірів і форми заготовок. За умовами технології можна замінити процеси стругання, різання, подрібнення, фрезерування, шліфування тощо на процеси штамповки, пресування, видавлювання, склеювання.

Якщо у процесі виробництва не можливо уникнути утворення горючих відходів, то необхідно застосовувати заходи щодо їх уловлювання та видалення із виробничих приміщень.

Прибирання приміщень від відходів може бути періодичним і безперервним, ручним і механізованим. Найбільш ефективним способом прибирання є механізований спосіб.

Із механізованих способів видалення відходів найбільш часто застосовують систему аспірації (рис.7.3).

Місцеві відсмоктувачі аспіраційних систем розташовують якнайближче до місць утворення відходів з урахуванням напрямку польоту часток, що виділяються з апаратів (верстатів).

Уловлювання горючих відходів може бути добре налагоджене у тому випадку, коли підприємство зацікавлене економічною стороною, тобто коли відходи виробництва підлягають утилізації. Відходи, що уловлюються, можуть використовуватись у якості палива, хімічної сировини або для виготовлення будівельних матеріалів.

Недоліком звичайних аспіраційних систем уловлювання та видалення відходів є те, що існує можливість розладу їх роботи з причини підключення нових точок відсмоктування, тому що тиск та швидкість руху повітря по усій системі зменшуються, відходи видаляються не повністю, а повітроводи захащаються відкладеннями.



Рисунок 7.3- Системи аспірації робочих місць у виробничих приміщеннях

З метою зручності транспортування відходів на інші підприємства їх пресують в брикети (рис. 7.4).



Рисунок 7.4- Верстат для утилізації деревних відходів та брикет

Брикетування та наступна утилізація відходів (рис. 7.5) допомагають не тільки отримати додаткове джерело енергії без забруднення навколишнього середовища, а й уникнути захаращення та надати можливість знизити собівартість продукції.

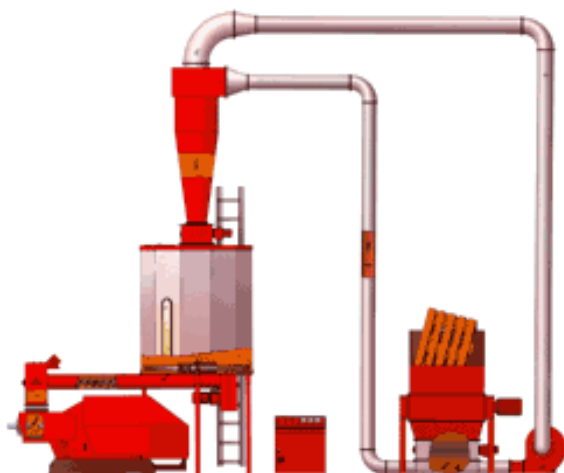


Рисунок 7.5- Роторний прес для утилізації деревних відходів

Велике значення має своєчасне прибирання виробничих приміщень. Розрізняють **поточне, періодичне та генеральне** прибирання.

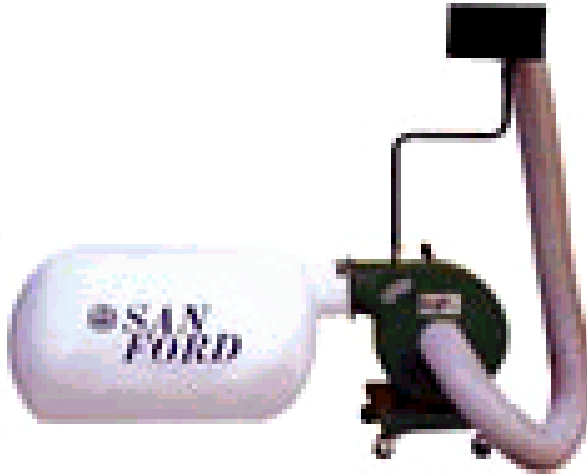


Рисунок 7.6- Промисловий пересувний пилосос

Поточне прибирання обладнання, приміщень здійснюється безперервно за мірою необхідності.

Періодичне прибирання може здійснюватись один раз у зміну чи добу, один раз в неділю або два рази на місяць і т.д., в залежності від характеру виробництва.

Під час генерального прибирання проводиться ретельне очищення усього виробничого обладнання, санітарно-технічних пристроїв та будівельних конструкцій.

Періодичність прибирання встановлюється технологічними регламентами та інструкціями, затвердженими адміністрацією підприємства.

Очищають обладнання та будівельні конструкції ручним або механізованим способами, без здійснення осілого пилу.

При механізованому очищенні обладнання, приміщень та будівельних конструкцій використовують промислові пилососи (рис. 7.6), а також централізовані стаціонарні пилососні систе-

ми (рис. 7.7) з вакуумними трубопроводами. Трубопроводи мають штуцери для приєднання шлангів із щітками.

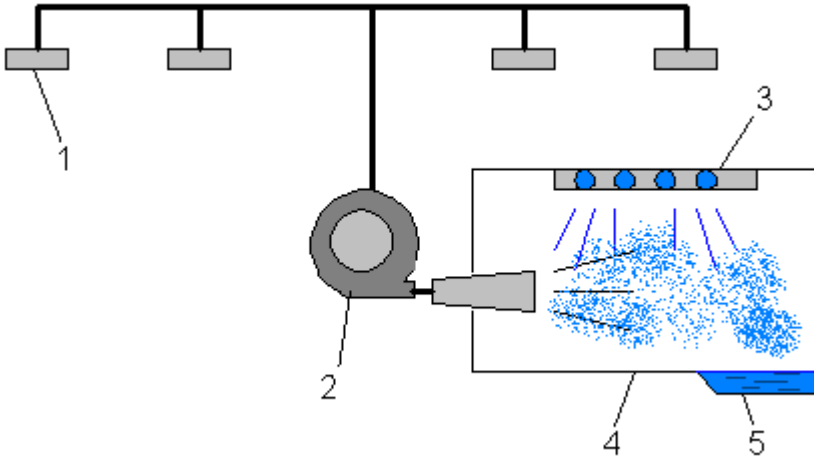


Рис. 7.7- Схема стаціонарної пилососної установки  
1- штуцери для приєднання шлангів зі щітками; 2- вакуум-насос;  
3- розпилювач води; 4- змивна камера; 5- забруднена вода

Для очищення повітря, що відсмоктується від горючих відходів виробництва та пилу застосовують інерційні уловлювачі, циклони (рис.7.8), а також рукавні або водяні фільтри. Фільтри можуть бути різноманітними за своєю конструкцією. Широко застосовуються масляні фільтри, що самі очищаються, рукавні та всмоктуючі фільтри, а також пінні пробивачі. Щоб зменшити можливість накопичення твердих горючих відкладень на ділянках трубопроводів до місця встановлення циклонів або фільтрів, трубопроводи виготовляють круглого перерізу із гладкою поверхнею.

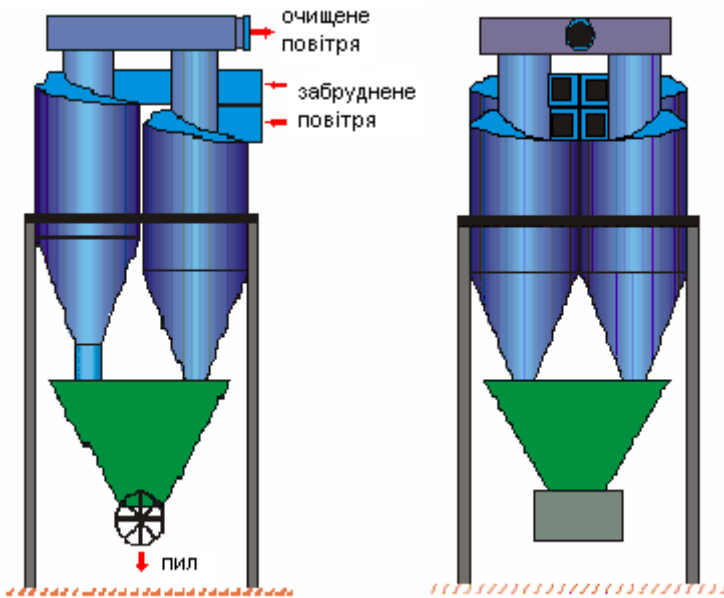


Рисунок 7.8- Батарейний циклон БЦШ-4

### 7.3 Евакуація горючих речовин та матеріалів на випадок аварії або пожежі

У випадку виникнення аварії чи пожежі на виробництві (у виробничому приміщенні або на зовнішній технологічній установці) виникає необхідність евакуації або суттєвого зменшення кількості пожежонебезпечних рідин, газів чи парів, а також твердих горючих матеріалів, якими заповнені технологічні ємності апарати та комунікації. З цією метою на виробництві влаштовують спеціальні системи, які забезпечують аварійну евакуацію горючих речовин та матеріалів.

#### 7.3.1 Аварійний злив пожежонебезпечних рідин

Евакуація легкозаймистих та горючих рідин із зони аварії або пожежі значною мірою сприяє зменшенню можливості

розповсюдження полум'я і суттєво полегшує дії пожежно-рятувальних підрозділів.

Повна або часткова евакуація пожежонебезпечних рідин може бути здійснена за допомогою спеціальних аварійних зливів.

**Системи аварійного зливу** розрізняють (рис.7.9):

- за способом зливу рідини;
- за приведенням в дію;
- за схемою зливу .

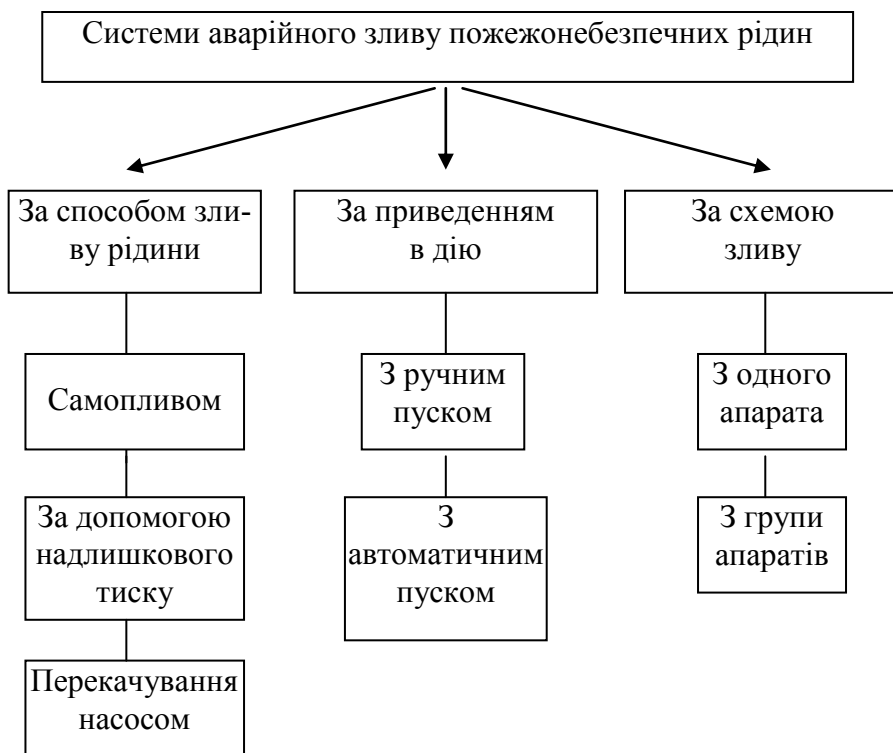


Рисунок 7.9- Інженерно-технічні рішення щодо зменшення кількості горючих речовин під час експлуатації виробництва



**Улаштування та експлуатація аварійних зливів.** Необхідність улаштування аварійного зливу пожежонебезпечних рідин визначається вимогами правил пожежної безпеки та виходячи із особливостей пожежної небезпеки технологічного процесу.

Аварійний злив пожежонебезпечних рідин із ємностей, які розміщені усередині виробничої будівлі, повинен здійснюватись у спеціальні аварійні або дренажні ємності підземного чи напівпідземного типу, що розташовуються поза меж будівель. При підземному розташуванні аварійної ємності відстань між нею і глухою стіною будівлі повинна бути не менше 1,0 м. Якщо стіна будівлі, з боку якої розміщають аварійну ємність, має отвори, то безпечна відстань приймається не менше 5,0 м.

Відстань від апаратури зовнішніх установок чи технологічних етажерок не нормується, але вони повинні розміщатись за габаритами установки. Не слід розташовувати аварійні ємності між будівлями і зовнішніми установками, що пов'язані з цими будівлями.

Аварійний злив може здійснюватись як самопливом (рис. 7.10), так і шляхом видавлювання пожежонебезпечної рідини за допомогою інертного середовища (азоту, водяної пари або діоксиду вуглецю, що використовуються для технологічних цілей). Один аварійний резервуар може з'єднуватись з декількома ємнісними апаратами. У цьому випадку ємність його повинна бути не менше, ніж об'єм найбільшого з них.

Аварійні резервуари виконуються закритими і забезпечуються дихальною арматурою з вогнеперешкоджувачами.

Оскільки у процесі експлуатації усередині аварійного резервуара може накопичуватись водяний конденсат, то злив високонагрітих рідин призведе до його швидкого випаровування, що в свою чергу сприятиме швидкому підвищенню внутрішнього тиску. Тому воду, що накопичилась, необхідно систематично видаляти. Дно резервуара роблять з ухилом, щоб забезпечити найбільш повне видалення води.

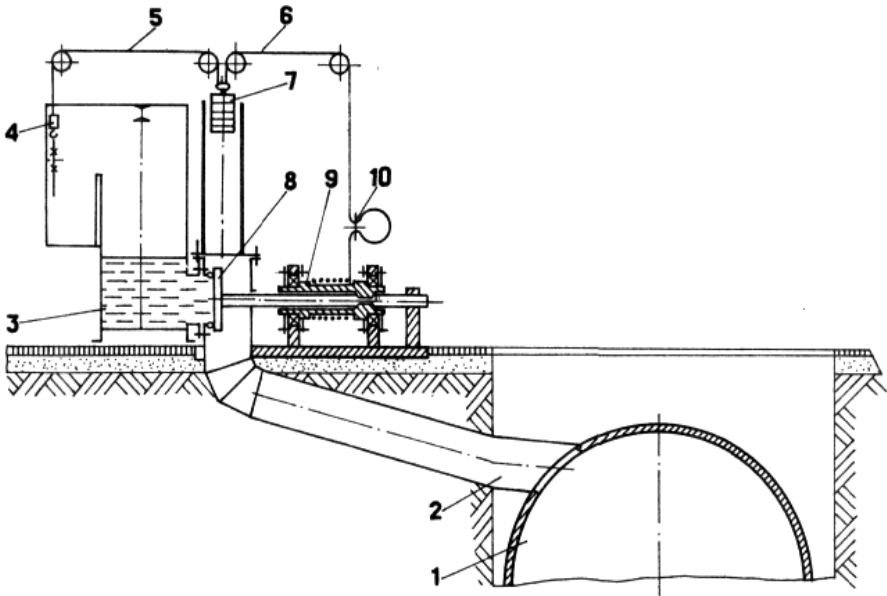


Рисунок 7.10- Схема аварійного зливу самопливом  
 1- аварійна ємність; 2- аварійний трубопровід; 3- апарат;  
 4- легкоплавкий замок; 5- трос важеля; 6- трос робочий; 7-  
 важіль; 8- аварійний отвір; 9- механізм приведення в дію затору;  
 10- петля

Перед аварійним зливом високонагрітих рідин внутрішній об'єм аварійного резервуара і зливну лінію необхідно продувати водяним паром або інертним газом. Продувка необхідна для попередження можливості вибуху суміші парів з повітрям при зіткненні їх з високонагрітим продуктом, що зливається у закриту аварійну ємність.

Трубопроводи систем аварійного зливу прокладаються з ухилом в сторону аварійної ємності і повинні мати якомога менше поворотів.

Улаштування засувок по всій довжині аварійного трубопроводу не допускається (за винятком засувок, що відключають апарат).

Лінія аварійного зливу захищається гідравлічними затворами від поширення по ній пожежі. Аварійні засувки розташовують, як правило, поза будівлею. Ввімкнення їх повинно бути автоматизоване і заблоковане з пристроями для аварійної зупинки апаратів чи установок. Датчики автоматичних систем відкриття засувки встановлюють у зоні можливого горіння.

На рис. 7.11 показана принципова схема аварійного зливу із вертикального апарата постійного перерізу. Принцип роботи даної установки полягає у наступному: після припинення подачі рідини в резервуар здійснюється продувка аварійної системи інертним середовищем, після чого забезпечується злив продукту в аварійну ємність.

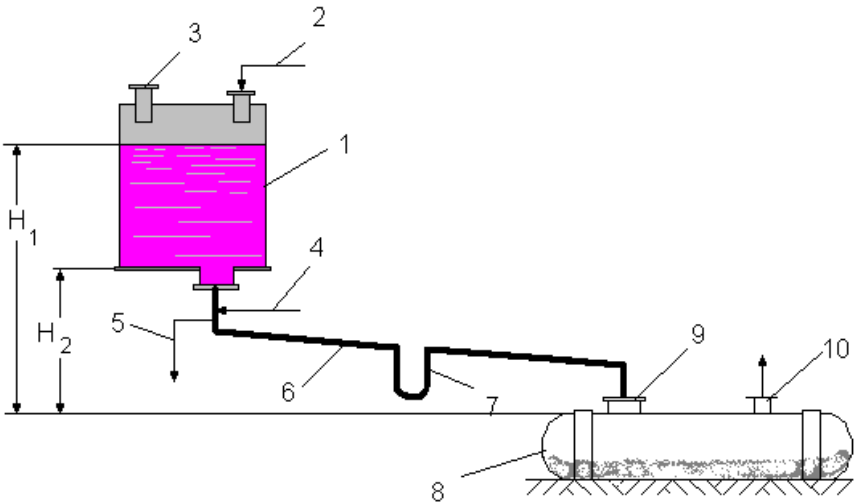


Рисунок 7.11- Схема аварійного зливу рідини самопливом з апарата постійного за висотою перерізу

1- апарат, що спорожнюється; 2- лінія подачі рідини; 3- люк; 4- лінія подачі інертного середовища для продувки; 5- лінія відведення рідини; 6- аварійний трубопровід; 7- гідравлічний затвор; 8- аварійна ємність; 9- патрубок; 10- дихальна лінія

Існують аналогічні схеми аварійного зливу, але з використанням інертного середовища для збільшення швидкості зливу.

Після закінчення операцій, зазначених у попередній схемі, відкривається засувка на лінії подачі інертного середовища в апарат, що спорожнюється. Використання інертного середовища для збільшення швидкості аварійного зливу дозволяє вирішувати паралельно й іншу задачу пожежної безпеки: виключити можливість утворення вибуху усередині апарата.

Особливо важливо під час аварійної ситуації швидко злити рідкі продукти з апаратів, порушення режиму роботи яких може закінчитись самовільним термічним розкладом продуктів та вибухом.

У виробничих приміщеннях, коли об'єм рідин невеликий, спеціальні аварійні резервуари не встановлюють, а використовують аварійні ємності, які розміщують назовні або у сусідніх приміщеннях за глухою стіною. При цьому рідини зливають самопливом.

В планах ліквідації аварій на виробництві повинні бути інструкції щодо способу приведення аварійної системи до дії.

Однією з важливих умов, що забезпечують ефективність дії системи аварійного зливу, є забезпечення допустимої (нормативної) тривалості аварійного зливу.

**Методика розрахунку системи аварійного зливу рідин з апарата.** Основним розрахунковим параметром системи аварійного зливу є тривалість спорожнення апаратів від пожежо-небезпечних рідин.

Методика визначення тривалості спорожнення апаратів, розташованих на одній висотній позначці, приведена нижче.

1. Спочатку необхідно визначити об'єм рідини, що зливається з апарата:

$$V_p = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \varepsilon_i \quad (7.1)$$

де  $V_i$  - геометричний об'єм і-того апарата, що спорожнюється,  $m^3$ ;

$\varepsilon$  - ступінь заповнення і-того апарата;

$n$  - число апаратів, що одночасно спорожнюються.

2. Необхідно провести трасування аварійного трубопроводу від апаратів, що спорожнюються, до аварійної ємності, визначити довжину лінійних ділянок (вертикальних, горизонтальних, похилих), кількість і види місцевих опорів, а також знайти значення коефіцієнтів місцевих опорів (довідкові дані).

3. Визначають сумарний коефіцієнт місцевих опорів:

$$\zeta = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \zeta_i , \quad (7.2)$$

де  $N_i$  - кількість місцевих опорів одного виду;

$\zeta_i$  - чисельне значення  $i$ -того коефіцієнта;

$n$  - число видів місцевих опорів.

4. Визначають відстань  $H_1$  від рівня рідини в апараті, що спорожнюється на початку зливу, до вхідного перерізу аварійного трубопроводу в аварійній ємності та відстань  $H_2$  від випускного отвору апарата до вхідного перерізу аварійного трубопроводу в аварійній ємності.

5. Визначають максимально допустиму тривалість аварійного зливу з апарата:

$$\tau_{\text{сп.м.}} = \tau_{\text{зл.}} - \tau_{\text{оп.}} \quad (7.3)$$

де  $\tau_{\text{сп.м.}}$  - максимально допустима тривалість аварійного спорожнювання апарата, с;

$\tau_{\text{зл.}}$  - допустима тривалість аварійного режиму, с, обґрунтовується розрахунком, виходячи з вогнестійкості будівельних конструкцій та обладнання, тривалості вигорання рідини або середнього часу виклику пожежних підрозділів, у більшості випадків приймають  $\tau_{\text{зл.}} \leq 900\text{с}$ ;

$\tau_{\text{оп.}}$  - тривалість операцій із приведення системи до дії, яка на діючому виробництві складається з часу виявлення аварійної ситуації  $\tau_{\text{вияв.ав.с}}$ , прийняття рішення  $\tau_{\text{пр.р}}$ , продувки

системи інертним газом (за необхідності)  $\tau_{\text{пр}}$  і відкривання приводних засувок  $\tau_{\text{в.з.}}$ :

$$\tau_{\text{оп.}} = \tau_{\text{виявав.с.}} + \tau_{\text{пр.р.}} + \tau_{\text{пр.}} + \tau_{\text{в.з.}} \quad (7.4)$$

При проектуванні системи аварійного зливу звичайно приймають: при ручному пуску системи в дію  $\tau_{\text{оп.}} = 300\text{с}$  і при автоматичному пуску  $\tau_{\text{оп.}} = 120\text{с}$ .

6. Подальші розрахунки проводять з використанням методу послідовних наближень, для чого оцінюють коефіцієнт витрати системи аварійного зливу:

$$\Phi_{\text{сист}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 3\xi_{\text{сист}}}} \quad (7.5)$$

7. Визначають діаметр аварійного трубопроводу  $d_{\text{тр}}$ :

$$d_{\text{тр}} = 0,785 \sqrt{\frac{V_{\text{р}}}{\tau_{\text{сп.м}} \cdot \Phi_{\text{сист}} (H_1 + H_2)}} \quad (7.6)$$

8. За довідниковими даними підбирають труби для влаштування лінійної частини системи аварійного зливу, товщину стінок яких визначають з урахуванням тиску рідини в них чи тиску газу для продувки за спеціальною методикою. Внутрішній діаметр труб приймають рівним не менш 100 мм.

9. Визначають площу прохідного перерізу труб системи аварійного зливу і вихідного патрубка апарата:

$$f_{\text{тр}} = f_{\text{вих}} = 0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2 \quad (7.7)$$

де  $d_{\text{вн}}^2$  - внутрішній діаметр трубопроводу, м.

10. Визначають середню швидкість руху рідини по аварійному трубопроводу під час зливу:

$$\omega = 2,22 \cdot \Phi_{\text{сист}} \cdot (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2}) \quad (7.8)$$

11. Знаходять густину рідини  $\rho_t$ , кг/м<sup>3</sup>, що зливається з апарата, за робочої температури (за довідковими даними чи розрахунком), а також її в'язкість  $\mu_t$ , Па·с (довідкові дані).

12. Визначають значення критерію Рейнольдса:

$$Re = \omega \cdot d_{вв} \cdot \rho_t / \mu_t, \quad (7.9)$$

У залежності від величини числа Re, визначають коефіцієнти опору тертя лінійних ділянок трубопроводу  $\lambda$ :

$$\text{при } Re \leq 2300 \quad \lambda = \frac{64}{Re};$$

$$\text{при } 2300 < Re \leq 10000$$

$$\lambda = \frac{0,364}{\sqrt[4]{Re}}; \quad (7.10)$$

$$\text{при } Re > 10000 \quad \lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

де  $\Delta$  - абсолютна шорсткість стінок труб, м;

$d$  - внутрішній діаметр трубопроводу, м.

13. Визначають коефіцієнт опору системи:

$$\zeta_{\text{сист}} = \zeta_c + \frac{\lambda}{d_{вв}} \cdot \sum_{i=1}^n l_i, \quad (7.11)$$

де  $l_i$  - довжина  $i$ -тої ділянки трубопроводу, м;

$n$  - число лінійних ділянок.

14. Визначають уточнене значення коефіцієнта витрати системи

$$\varphi_{\text{сист}}' = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_{\text{сист}}}}. \quad (7.12)$$

15. Визначають помилку при оцінці коефіцієнта витрати системи

$$\theta_{\text{сист}} = \frac{|\varphi_{\text{сист}}' - \varphi_{\text{сист}}|}{\varphi_{\text{сист}}} 100\% \quad (7.13)$$

Якщо помилка не перевищує 5%, вважають значення  $\varphi_{\text{сист}}$  дійсним і продовжують розрахунки. Якщо помилка  $\geq 5\%$ , то задаються новим значенням коефіцієнта витрати системи

$$\varphi_{\text{сист}}'' = 0,5(\varphi_{\text{сист}}' + \varphi_{\text{сист}}) \quad (7.14)$$

і повторюють усі розрахунки з п.7 доти, поки помилка стане менше 5%.

16. Визначають тривалість спорожнення апарата. Для апарата з постійним за висотою перерізом (вертикальний циліндричний апарат, апарат із квадратним чи прямокутним перерізом та паралельними стінками тощо.)

$$\tau_{\text{сп}} = \frac{0,452 \cdot F(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\varphi_{\text{сист}} \cdot f_{\text{вих}}} \quad (7.15)$$

де  $f_{\text{вих}}$  - площа поперечного перерізу апарата,  $\text{м}^2$ .

17. Далі перевіряють умову виконання аварійного зливу, якщо

$$\tau_{\text{сп.}} + \tau_{\text{оп.}} \leq [\tau]_{\text{зл.}},$$

розрахунок системи аварійного зливу вважають закінченим.

Якщо ця умова не виконується, необхідно здійснити наступні заходи (один або декілька):

\* **замість ручного приводу аварійного зливу передбачити автоматичний** (зробити перевірочний розрахунок, починаючи з п.5);

\* **збільшити діаметр аварійного трубопроводу** (зробити перевірочний розрахунок системи, починаючи з п.11);



\* **підібрати оптимальний варіант розміщення аварійної ємності**, забезпечивши мінімальну довжину лінійної частини трубопроводу при мінімумі місцевих опорів (зробити перевірочний розрахунок системи, починаючи з п.13);

\* **запропонувати аварійний злив шляхом видавлювання рідини** (зробити перевірочний розрахунок системи, починаючи з п.4). У цьому випадку величини  $H_1$  і  $H_2$  визначають так:

$$H_1 = \frac{P_{\text{п.}}}{\rho_t \cdot g} \text{ та } H_2 = \frac{P_{\text{к.}}}{\rho_t \cdot g}, \quad (7.16)$$

де  $P_{\text{п}}$  і  $P_{\text{к}}$  - надлишковий тиск інертного газу відповідно на початку і в кінці спорощення апарата,  $P_{\text{а}}$ . Тиск інертного газу не повинен перевищувати допустимий за умовами сили тиску в апараті і трубопроводі;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - прискорення сили ваги.

18. Визначають об'єм аварійної ємності:

$$V_{\text{а}} = \frac{V_{\text{рід}}}{\varepsilon}, \quad (7.17)$$

де  $\varepsilon$  - ступінь заповнення аварійної ємності рідиною, приймають  $\varepsilon = 0,8$  для ЛЗР і  $\varepsilon = 0,9$  для ГР.

Таким чином, методика розрахунку системи аварійного зливу містить у собі визначення наступних параметрів: вид рідини, спосіб зливу, робочий тиск в апараті, об'єм рідини, що зливається, допустиму тривалість зливу, привід системи зливу; діаметр аварійного трубопроводу, тривалість зливу, об'єм аварійної ємності.

### **7.3.2 Перекачування горючих рідин із небезпечної зони в безпечну**

Іноді улаштування аварійного зливу може бути недоцільним, тому необхідно передбачити можливість

перекачування пожежонебезпечних рідин із ємностей в інші апарати чи ємності, що розташовані в менш небезпечній зоні.

У цьому випадку евакуація рідин не потребує створення спеціальних пристроїв, оскільки при виникненні аварійної ситуації можуть бути використані технологічні комунікації та насосні агрегати, що є на підприємстві. Такий спосіб зливу застосовують також під час зупинки технологічного процесу (устаткування) для проведення планово-попереджувального ремонту.

Поряд з цим даний спосіб має суттєві недоліки, які обумовлюються неможливістю здійснення аварійного зливу за відсутності порожніх ємностей, а також незначною швидкістю зливу, внаслідок складної системи переключення.

Тривалість перекачування  $\tau_{\Pi}$ , (хв.), за відомих гідравлічних характеристик та напору насоса можна визначити за формулою:

$$\tau_{\Pi} = \frac{V_p}{266\phi_{\text{сист}}f_{\text{тр}}\sqrt{\frac{P_{\Pi}}{\gamma_p}10^4 \pm h}}, \quad (7.18)$$

де  $P_{\Pi}$  - надлишковий тиск над поверхнею рідини, Па.

Знак плюс у формулі (7.18) приймається тоді, коли перекачування рідини відбувається на відмітку, яка розташована нижче відмітки апарата, що спорожнюється.

### 7.3.3 Аварійний випуск горючих парів і газів

У разі виникнення аварійної ситуації при експлуатації апаратів, які працюють під тиском, необхідно застосовувати відповідні заходи з випуску горючих парів чи газів з цих апаратів в атмосферу за допомогою спеціальних випускних ліній або запобіжних клапанів. Але в цьому випадку виникає загазованість зовнішнього повітряного простору над територією виробничого підприємства і, як наслідок, не

виключається можливість утворення вибухонебезпечних парогазоповітряних сумішей.

Для того, щоб зменшити імовірність утворення вибухонебезпечних концентрацій, випускні лінії розраховуються, а до їх улаштування та експлуатації пред'являються певні вимоги.

Лінії аварійного випуску парів або газів можуть монтуватись як для кожного апарата окремо, так і об'єднуватись загальним колектором. Аварійне скидання газу може бути автоматичним і ручним.

Система захисту реактора для полімерізації етилену, яка приведена на рис. 7.12, працює наступним чином.

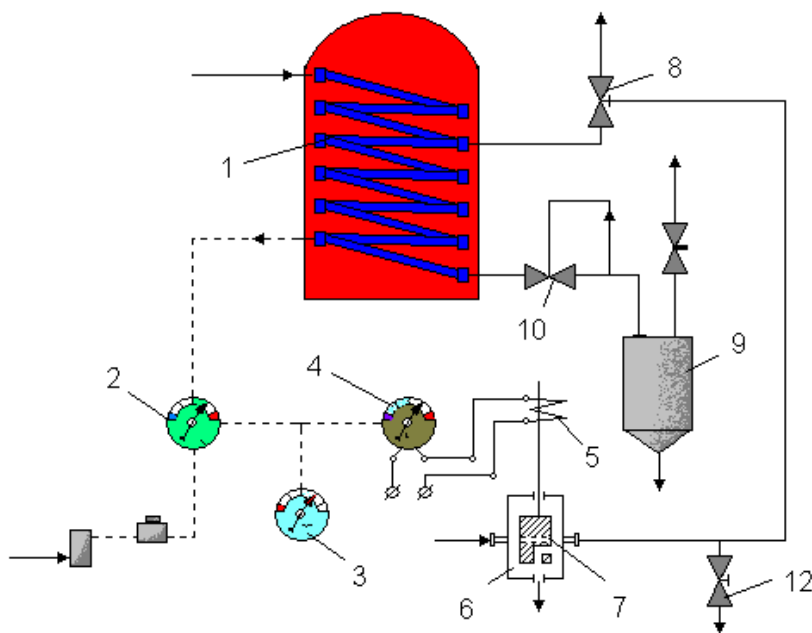


Рисунок 7.12- Схема автоматичного захисту реактора  
1 - реакційний змійовик; 2 - первинний манометр; 3-вторинний манометр; 4 - електроконтактний манометр; 5- соленоїдний клапан; 6 - золотник; 7 - випускний клапан золотника; 8 - мембранний пневматичний клапан; 9 - сепаратор високого тиску;

10 - редуційний клапан прямої дії; 11, 12 - вентиля ручного випуску

За умов підвищення тиску понад заданий електроконтактний манометр замикає ланцюг живлення обмотки соленоїдного клапана, яка втягує сердечник, що з'єднаний з поршнем золотникового пристрою. При цьому відкривається випускний золотниковий клапан і скидається тиск робочого повітря від мембранного пневматичного клапана. Мембранний клапан, в свою чергу, відкривається і випускає етилен з реактора в навколишнє середовище. У разі виникнення пожежі може бути здійснено ручний випуск, як із реактора, так і з сепаратора високого тиску. Аварійне скидання в умовах пожежі можна також автоматизувати. З цією метою до ланцюга обмотки клапана додається датчик, який реагує на підвищення температури в приміщенні під час пожежі.

За наявності значної кількості ємнісної апаратури використовують загальні факельні установки для спалювання газу, що викидається. При аварійному скиданні великої кількості газу або парів та при відсутності пристроїв для їх факельного спалювання доцільно влаштовувати тимчасовий факел.

Аварійне скидання у випускні лінії або на факел при підвищенні тиску в апаратах здійснюється за допомогою запобіжних клапанів.

### **7.3.4 Захист від розтікання горючих рідин**

Характер розтікання рідини під час аварійних ситуацій при експлуатації апаратів і трубопроводів, а також величина площі, що залита рідиною, визначаються багатьма факторами: кількістю рідини, що розлилася, її в'язкістю, температурою рідини та середовища, інтенсивністю витікання рідини, висотою падіння струменя, наявністю ухилів виробничої площадки чи підлоги, станом поверхні тощо. Безумовно, урахувати все це і розрахунковим шляхом визначити можливу площу розтікання рідини досить важко.

Для обмеження вільного розтікання горючої рідини під час пошкоджень апаратів при аварійних ситуаціях влаштовують обвалування, стінки, бортики, пороги, лотки тощо.

У відповідності до правил пожежної безпеки відкриті склади ЛЗР та ГР слід розміщати на майданчиках, які мають нижчу позначку відносно прилеглих будівель та населених пунктів. У разі неможливості виконання цієї вимоги повинні передбачатися додаткові заходи, що виключають можливість розливання ЛЗР та ГР під час аварії по території населеного пункту, підприємства тощо.

Резервуарні парки та інші майданчики для зберігання ЛЗР та ГР повинні мати за периметром обвалування (стінки), які перешкоджають витіканню рідини у разі аварії. Земляне обвалування у верхній частині повинно бути не менше 0,5 м завширшки і виконане таким чином, щоб воно вміщувало об'єм найбільшого резервуара, що знаходиться у цьому обвалуванні, і було на 0,2 м вище рівня розлитої рідини, тобто

$$H_{\text{обв.}} = \frac{W_{\text{н.р.}}}{F_{\text{обв.}} - F_{\text{ц.р.}}} + 0,2, \text{ м}, \quad (8.16)$$

де  $H_{\text{обв.}}$  - висота обвалування;

$W_{\text{н.р.}}$  - об'єм найбільшого резервуара;

$F_{\text{обв.}}$  - площа обвалування;

$F_{\text{ц.р.}}$  - площа цілих резервуарів.

Майданчики для зберігання горючих рідин у тарі слід обгороджувати земляним валом або негорючою суцільною стінкою заввишки не менше 0,5 м з пандусами для проходу на майданчик.

Дверні отвори у приміщеннях для зберігання ЛЗР та ГР у тарі повинні мати пороги з пандусами заввишки не менше 0,15 м для запобігання розливанню рідини у випадку аварії. Підлога в цих приміщеннях повинна бути з негорючих матеріалів і мати похил для стікання рідин до лотків та трапів.

Розтікання рідини на території підприємства може бути обмежено також улаштуванням лотків, жолобів та канав, які розміщують з урахуванням ухилу місцевості.

Пристрої проти розтікання рідин слід утримувати у справному стані. Вали, бортики та пороги, які пошкоджені при проведенні ремонтних чи монтажних робіт обладнання, повинні бути відновлені допуску обладнання в експлуатацію.

### **7.3.5 Евакуація твердих горючих матеріалів**

У разі виникнення пожежі необхідно також евакуювати у безпечне місце тверді горючі матеріали та виробниче обладнання, що легко демонтується.

Для евакуації сипучих матеріалів можуть бути використані спеціальні аварійні бункери, що розташовані у безпечній зоні. Евакуація сипучих матеріалів може здійснюватись самопливом по технологічних трубопроводах, а також за допомогою транспортних засобів (транспортерів, пневматичних або аерозольних систем). Слід мати на увазі, що в бункерах або ємностях, в які пересипаються горючі матеріали, можуть утворюватись вибухонебезпечні пилоповітряні суміші. Тому об'єм бункерів доцільно попередньо заповнювати інертним газом.

Евакуація матеріальних цінностей та іншого обладнання здійснюється в місця, які визначені планами евакуації на випадок пожежі або відповідними інструкціями.

## **ГЛАВА 8. ВОГНЕЗАТРИМУЮЧІ ПРИСТРОЇ НА ВИРОБНИЧИХ КОМУНІКАЦІЯХ**

По виробничих комунікаціях (системи для прокладки трубопроводів, наземні трубопровідні естакади, підземні тунелі, траншеї, системи каналізації, окремі трубопроводи, повітропроводи, лотки, канали тощо) полум'я може поширюватись в тих випадках, якщо усередині в них утворилася горюча концентрація парів ЛЗР, ГР, газу або пилу; коли трубопроводи

з горючими рідинами працюють неповним перерізом; якщо є шар горючої рідини на поверхні води в системі виробничої каналізації, у лотках і траншеях або горючі відкладення на поверхні труб, каналів і повітроводів; якщо в системі знаходяться гази, газові суміші або рідини, здатні розкладатися з подальшим загоранням під впливом високої температури або тиску.

Вогонь може поширюватися також через технологічні отвори в глухих стінах і перекриттях, де проходять трубопроводи, норії та інші транспортні пристрої.

Щоб запобігти поширенню вогню по виробничих комунікаціях, застосовують різний за своїм улаштуванням захист: вогнеперешкоджувачі сухі; вогнеперешкоджувачі у вигляді гідравлічних затворів; затвори з твердих здрібнених матеріалів; засувки і заслінки, що автоматично закриваються; водяні завіси; перемички тощо.

## **8.1 Вогнеперешкоджувачі сухі**

**Вогнеперешкоджувачі сухі** - це такі захисні пристрої на трубопроводах, які вільно пропускають потік рідини або газів через тверду вогнезахисну насадку, але затримують полум'я, тобто гасять його.

**Принцип дії сухих вогнеперешкоджувачів.** Незважаючи на різноманіття конструктивних рішень, принцип захисної дії всіх вогнеперешкоджувачів однаковий.

Розрізняють два механізми поширення полум'я по горючій газовій суміші: порівняно повільне ламінарне горіння і достатньо швидке детонаційне горіння.

Ламінарне горіння здійснюється шляхом передачі тепла від шару, що горить, до найближчого шару горючої суміші. Свіжа горюча суміш і продукти згоряння розділені вузькою зоною (товщиною менше 1 мм), в якій відбувається підігрів свіжої горючої суміші і швидка екзотермічна хімічна реакція. Ця зона називається „фронтом полум'я”. Фронт полум'я переміщається у напрямку вихідної горючої суміші по нормалі до її поверхні.

Швидкість, з якою переміщається фронт полум'я відносно нерухомої горючої суміші, називається „нормальною швидкістю поширення полум'я”  $U_H$ . Величина  $U_H$  є фізико-хімічною константою горючої суміші і звичайно наводиться у довідковій літературі [3]. Більшість вуглеводно-повітряних сумішей мають  $U_H \approx 0,3 - 0,5$  м/с, воднево-повітряна суміш має  $U_H = 2,8$  м/с. Найбільш швидкогорюча ацетилено-киснева суміш згорає зі швидкістю  $U_H = 15,4$  м/с.

Якщо горюча газова суміш займається і згорає усередині замкнутої судини, то тиск в ній зростає, як правило, не більше ніж у 8-10 разів. При цьому в будь-який момент часу тиск в усіх точках об'єму є практично однаковим. Якщо суміш займається в довгому трубопроводі, то, внаслідок розширення продуктів згорання, відбувається інтенсивний рух і турбулізація горючої суміші, що в десятки разів підвищує швидкість горіння. Такий нестационарний процес горіння прискорюється до тих пір, доки попереду фронту полум'я не виникне ударна хвиля, тиск і температура в якій достатні для адиабатичного самозаймання горючої суміші; після цього режим поширення полум'я стає детонаційним. При детонації полум'я поширюється не в результаті теплопровідності, а внаслідок запалення суміші під дією ударної хвилі; при цьому зона хімічної реакції переміщається слідом за ударною хвилею. Ударна хвиля сумісно із зоною реакції утворює детонаційну хвилю, яка поширюється зі швидкістю 1,500 – 3,500 м/с.

Принцип дії сухих вогнеперешкоджувачів заснований на гасінні полум'я у вузьких каналах, яке, згідно теорії поширення полум'я, обумовлено тепловими втратами із зони реакції до стінок каналу (ефект гасіння полум'я у вузьких каналах відомий з 1815 р., коли його відкрив Гемфрі Деві - винахідник безпечної рудничної лампи, який встановив, що полум'я метано-повітряної суміші не проходить через трубку діаметром 3,63 мм). Чим вужче канал, по якому поширюється полум'я, тим більша його поверхня, що припадає на одиницю маси горючої суміші, а отже, і більші втрати тепла із зони реакції. В



каналі, розмір якого досягає деякої критичної величини, теплові втрати настільки зменшують швидкість горіння, що подальше його поширення стає неможливим.

Дія вогнеперешкоджувача на детонаційне полум'я полягає у подрібненні і руйнуванні фронту ударної хвилі у вузьких каналах і наступному гасінні полум'я за рахунок теплових втрат.

Ефективність роботи вогнеперешкоджувача залежить в основному від діаметра каналів, що гасять, і мало - від їх довжини. Довжина каналів може мати суттєве значення у тих випадках, коли через вогнеперешкоджувач проходить значна кількість продуктів згоряння з високою температурою, оскільки є небезпека, що вони можуть підпалити горючу суміш з іншої сторони вогнеперешкоджувача. У цьому випадку висота вогнеперешкоджуючого шару повинна забезпечувати охолодження продуктів згоряння. Крім цього, вогнеперешкоджувачі для локалізації детонаційного горіння повинні мати більшу механічну міцність, оскільки тиск під час детонації збільшується в декілька разів, а ударна хвиля має більшу руйнівну силу.

**Види й конструктивні особливості сухих вогнеперешкоджувачів.** Вогнеперешкоджувачами (сухими) захищають газові, пароповітряні та рідинні лінії, в яких за умовами технологічного регламенту або при порушенні нормального режиму роботи можуть утворюватись горючі концентрації, а також лінії з наявністю речовин, здатних розкладатися під дією тиску, температури чи інших факторів.

Частіше за все сухими вогнеперешкоджувачами захищають дихальні лінії резервуарів, мірників, проміжних ємностей, напірних баків і подібних їм апаратів з ЛЗР та ГР, які нагріті до температури спалаху і вище, стравлюючі лінії та продувочні свічі на апаратах з горючими газами (ГГ) та ЛЗР, пароповітряні лінії рекуперативних установок, лінії, які йдуть від апаратів і ємностей на факел.; лінії газової обв'язки резервуарів з ЛЗР тощо.

Насадка вогнеперешкоджувача не повинна пропускати полум'я при всіх концентраціях і максимально можливих швидкостях горіння сумішей. Крім того, насадка повинна бути досить міцною і не руйнуватися та не втрачати захисної сили навіть під дією вибухової хвилі. Вогнеперешкоджувач не повинен чинити великий опір проходженню через нього газової або парової фази.

Надійне гасіння полум'я досягається не тільки правильним вибором величини отворів сітки чи насадки вогнеперешкоджувача, але й виключенням умов, що дозволяють потокові знайти інші шляхи, крім вогнегасної насадки.

Сухі вогнеперешкоджувачі класифікуються (рис.8.1):

- за місцем їх установлення на обладнанні;
- за видом вогнеперешкоджуючого елемента (насадки).



Рисунок 8.1- Класифікація сухих вогнеперешкоджувачів

Вогнегасні пристрої вогнеперешкоджувачів можуть бути у вигляді сіток або насадок. На рис.8.2 приведені схеми вогнеперешкоджувачів з різними типами вогнеперешкоджуючих елементів.

Насадочний вогнеперешкоджувач (рис.8.2,а) складається з корпусу 1, в якому на решітці 3 влаштована насадка 2 із скляних чи порцелянових кульок, гравію або інших гранульованих сипучих матеріалів. У якості насадки у вогнеперешкоджувачах цього типу можуть використовуватись також кільця Рашига.

Касетний вогнеперешкоджувач (рис.8.2, б) складається з корпусу 1, усередині якого знаходиться вогнеперешкоджуюча касета 4 із гофрованої та плоскої металевих стрічок, щільно звитих у рулон таким чином, що в ньому утворюються вертикальні вузькі канали, через які вільно проходить горюча суміш, а полум'я поширюватись не може.

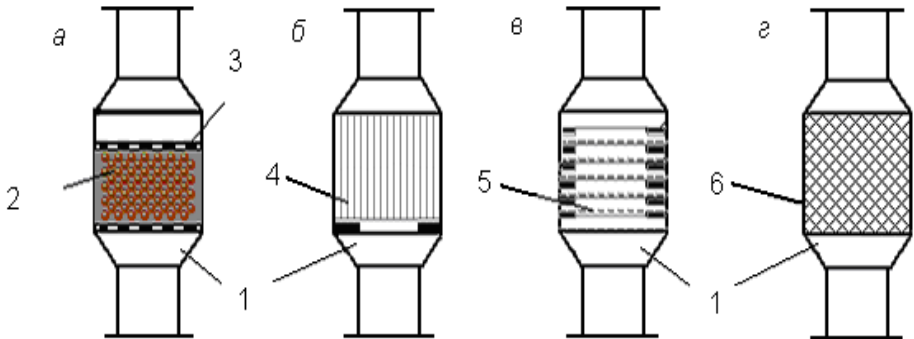


Рисунок 8.2- Схеми основних видів вогнеперешкоджувачів

Різновидом такого типу вогнеперешкоджувачів є пластинчатий вогнеперешкоджувач, у якому касета являє собою пакет із плоско паралельних металевих пластин з точно визначеними відстанями між ними.

**Сітчастий вогнеперешкоджувач** (рис.8.2, в) складається з корпусу 1, усередині якого вмонтовано пакет сіток 5. Сітчасті

вогнеперешкоджувачі прості у виготовленні і мають незначний опір газовому потоку, але вони не отримали широкого застосування в промисловості. Недоліком їх є невелика механічна міцність вогнеперешкоджуючого елемента та можливість швидкого прогорання сіток при виникненні полум'я на їх поверхні, а внаслідок цього недостатня надійність захисту обладнання.

**Металокерамічний вогнеперешкоджувач** (рис.8.2, г) складається з корпусу 1, в якому розміщений вогнеперешкоджуючий елемент у вигляді пористої металокерамічної пластини 6. Металокерамічні вогнеперешкоджувачі застосовують в основному при газополум'яній обробці металів, оскільки кисневі суміші горючих газів потребують застосування гасячих каналів у межах 0,5 – 0,07 мм. Такі малі канали легше за все отримати шляхом застосування у якості вогнеперешкоджуючого елемента пористої металокераміки або металоволокна, яке отримується пресуванням і запіканням дрібних металевих кульок чи кусочків металевої проволочи діаметром 25–100 мкм.

Найбільше поширення в промисловості отримали насадочні та касетні вогнеперешкоджувачі.

Розглянемо більш детально улаштування та принцип дії цих вогнеперешкоджувачів.

**Насадочний вогнеперешкоджувач** з гравійною насадкою показано на рис. 8.3. Насадка розміщується між сітками, розмір чарунок яких забезпечує утримання гранул. Вага насадки сприймається більш крупними і міцними решітками. В даній конструкції насадка жорстко фіксується у корпусі за допомогою гвинтів, що натискуються.

Розмір гранул насадочних вогнеперешкоджувачів звичайно вибирається таким, щоб діаметр каналів в насадці не перевищував 1,5 мм. Це дає можливість приблизно з двократним запасом надійності гасити полум'я газо- та пароповітряних сумішей з нормальною швидкістю поширення полум'я до 0,45 м/с. Висота насадки в таких вогнеперешкоджувачах не перевищує 200 мм.

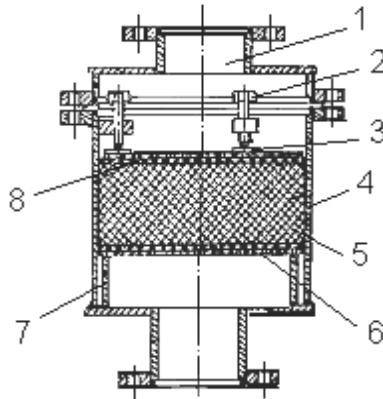


Рисунок 8.3 - Конструкція насадочного вогнеперешкоджувача  
 1 - патрубок; 2 - гвинт, що натискується; 3 - планка; 4 - корпус;  
 5 - насадка; 6 - решітка; 7 - опорне кільце; 8 - решітки

Насадочні вогнеперешкоджувачі, незважаючи на їх широке застосування в хімічній та суміжних галузях промисловості, не випускаються серійно, а розробляються як нестандартне обладнання при проектуванні окремих виробництв. Цьому сприяє, з одного боку, велика різноманітність умов їх роботи, а з іншого - простота конструкції, в результаті чого вони легко можуть бути виготовлені практично на будь-якому підприємстві.

Умови поширення полум'я знизу вгору і зверху вниз неоднакові. Тому для забезпечення однакової ефективності комунікаційних насадочних вогнеперешкоджувачів при підході полум'я з обох кінців в їх конструкції передбачають поворот потоку на 180°. Одна з таких конструкцій показана на рис. 8.4. Корпус 6 вогнеперешкоджувача виконаний у вигляді U-подібної трубки, заповненої дрібнозернистою насадкою, що розміщена між насадками 5. Вогнеперешкоджувач має повністю симетричну конструкцію: на обох кінцях встановлені антидетонаційні решітки 1, клапани 2, які зафіксовані у відкритому положенні, та ємності 3 з рідиною, що гасить полум'я. Клапани 4, які запирають рідину, кінематично пов'язані з клапанами 2. При підході вибухової хвилі з будь-якого кінця

відповідний клапан 2 закривається, а клапан 4 впускає рідину, зрошуючи насадку вогнеперешкоджувача, що в свою чергу збільшує його ефективність.

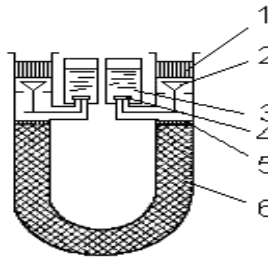


Рисунок 8.4 - Схема U-подібного насадочного вогнеперешкоджувача

На лініях з діаметром від 300 до 1200 мм (лінії рекупераційних установок, газові обв'язки резервуарів) застосовують **гравійні вогнеперешкоджувачі**, які показані на рис. 8.5. В даному вогнеперешкоджувачі гасяча насадка створена гравієм товщиною 70 – 80 мм, який знаходиться в кільцевому просторі між двома дірчастими трубами. Така конструкція дозволяє мати вогнезахисний шар потрібної товщини і велику поверхню проходження пароповітряної суміші. Щоб у кільцевому просторі не змогли утворитись незаповнені місця (через які може проскочити полум'я), в бункері завжди повинен бути запас гравію. На протилежних торцях вхідного і вихідного патрубків встановлені запобіжні мембрани.

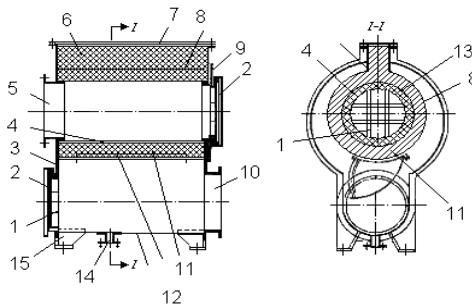


Рисунок 8.5- Гравійний вогнеперешкоджувач на лініях пароповітряної суміші рекупераційних установок

1 - опорна решітка; 2 - мембрани; 3 - бокова стінка; 4 - внутрішній перфорований циліндр; 5, 10 - приєднувальні патрубки; 6 - бункер; 7 - кришка бункера; 8 - зовнішній перфорований циліндр; 9 - кришка; 11- розвантажувальний люк; 12 - корпус; 13 - гравійна насадку; 14 - патрубок зливу конденсату; 15- лапи для встановлення

Для запобігання поширенню полум'я сумішей, що швидко горять (суміш повітря з ацетиленом, воднем, етиленом), застосовують вогнеперешкоджувачі з дрібнозернистою насадкою у вигляді кульок зі скла чи порцеляни розміром 0,5-1 мм. Висота насадки звичайно становить не менше 80 мм. Одна з конструкцій такого вогнеперешкоджувача, оснащеного решітками з охолоджуючими ребрами, показана на рис. 8.6.

Вогнеперешкоджувачі з дрібнозернистою насадкою ефективно локалізують полум'я, але вони чинять значний опір газовому потоку.

Їх застосування ускладнюється також у випадку наявності в горючому газі пилу, смолистих речовин, що легко конденсуються і забруднюють вогнеперешкоджувач.

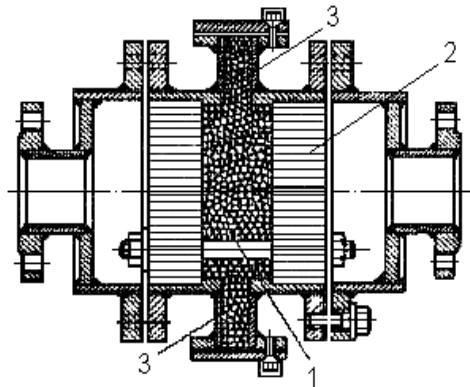


Рисунок 8.6- Вогнеперешкоджувач з ребристою решіткою  
1- насадка; 2- ребриста решітка; 3- компенсаційний шар насадки

**Касетні вогнеперешкоджувачі** (рис.8.7) призначені для захисту резервуарів з нафтопродуктами, крім цього їх застосовують також для захисту технологічних апаратів хімічної промисловості. Вогнеперешкоджуюча касета виготовляється із алюмінієвої фольги товщиною 0,3-0,47 мм.

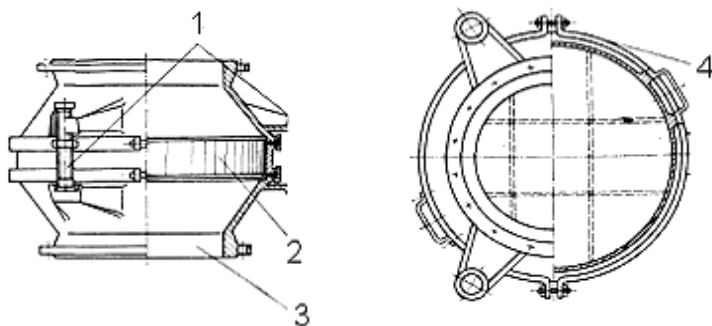


Рисунок 8.7- Конструкція касетного вогнеперешкоджувача  
1- домкрат; 2- касета; 3- корпус; 4- хомут

Для цього спочатку отримують гофровану стрічку шляхом пропускання смуги через два ролика із зубцями, що обертаються. Потім для створення вогнеперешкоджуючої касети гофрована стрічка накладається на плоску стрічку. Обидві стрічки вставляються в отвір сталевго стержня і спірально намотуються на нього. При цьому переріз каналів, що утворюються гофрованою стрічкою мають вид трикутника з основою 3,9 - 4 мм та висотою 1,15 - 1,25 мм (табл.8.1).

Таблиця 8.1- Розміри касет вогнеперешкоджувачів

Розміри трикутних каналів, мм		Товщина стрічки з фольги, мм	Площа живого перетину каналу, мм <sup>2</sup>	Висота касети, мм
висота	основа			
1,25	2,5	0,3	1,125	50
2,2	3,6	0,3	3,09	155
2,2	4,0	0,3	3,57	210



На резервуарах з горючими рідинами касетні вогнеперешкоджувачі монтуються послідовно з дихальними та запобіжними клапанами для попередження проникнення полум'я усередину резервуара. Це призвело до створення комбінованих пристроїв у вигляді клапанів з влаштованими в них вогнеперешкоджуючими касетами.

В усіх вказаних випадках касети за конструкцією однакові, і тому їх можна вважати типовим елементом. Одним з недоліків касет із плоскої та гофрованої стрічок, які скручені в рулон, є їх мала механічна міцність. Для підвищення міцності касета 3 (рис. 8.8) може бути виконана у вигляді плоских та гофрованих металевих кілець, що чергуються. Кільця надіті на перфорований циліндр 4 з кришкою 1 і зажато в пакет за допомогою гайки 2.

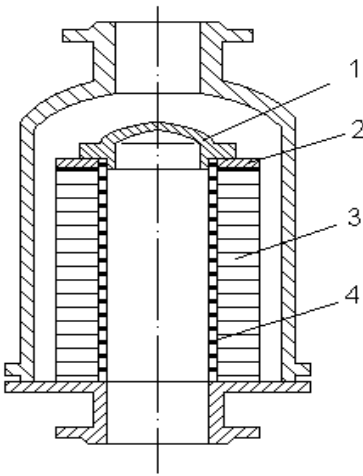


Рисунок 8.8- Касетний вогнеперешкоджувач

Якщо швидкість витікання горючого газу через канал касети дорівнює або більша за швидкість поширення полум'я, то поблизу її поверхні може утворитися стаціонарний факел, який призведе до перегріву деталей вогнеперешкоджувача. Більше

того, сильний розігрів касети може викликати спалахування газу і з протилежної сторони, тобто можливе поширення полум'я через вогнеперешкоджувач.

Щоб попередити цю небезпеку, вогнеперешкоджувачі оснащують різноманітними автоматичними пристроями для гасіння стаціонарного полум'я або різними конструктивними методами прагнуть забезпечити достатнє інтенсивне охолодження вогнеперешкоджувача.

Конструкція **сітчастого вогнеперешкоджувача** для захисту установок з рекуперації розчинників показана на рис. 8.9.

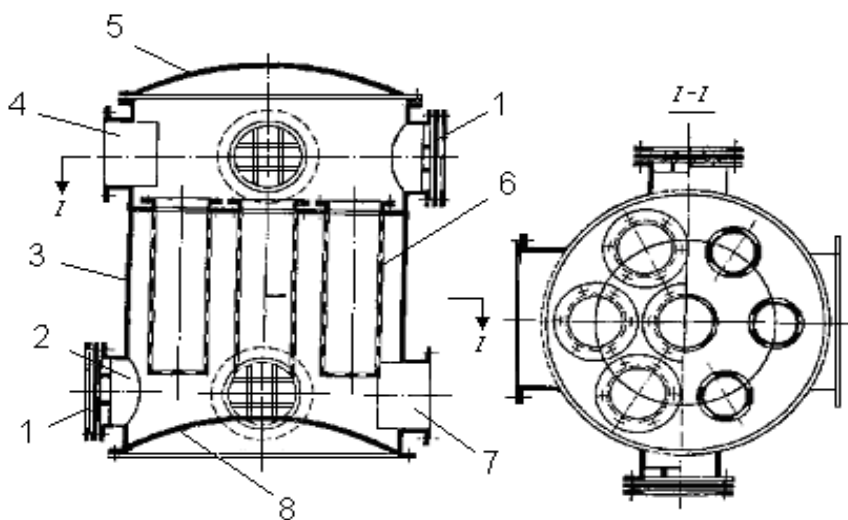


Рисунок 8.9- Сітчастий вогнеперешкоджувач

1 - мембрани; 2 - патрубок з опорною кришкою для запобіжної мембрани; 3 - корпус; 4,7 - патрубки відповідно для входу і виходу горючої суміші; 5 - кришка; 6 - гільзи з вогнеперешкоджуючими сітками; 8 - днище

Вогнеперешкоджуючий елемент виконаний у вигляді семи гільз 6, що обмотані декількома шарами сітки з розміром чарунок 3 - 4 мм. Корпус вогнеперешкоджувача захищений від

впливу вибухової хвилі запобіжними мембранами 1. Велика поверхня вогнеперешкоджуючих гільз дозволяє отримати пропускну здатність такого вогнеперешкоджувача до 40000 м<sup>3</sup>/год.

Сітчасті вогнеперешкоджувачі прості у виготовленні і мають незначний опір газовому потоку. При газополум'яній обробці металів застосовують спеціальні вогнеперешкоджувачі (рис. 8.10), здатні локалізувати полум'я кисневих сумішей горючих газів.

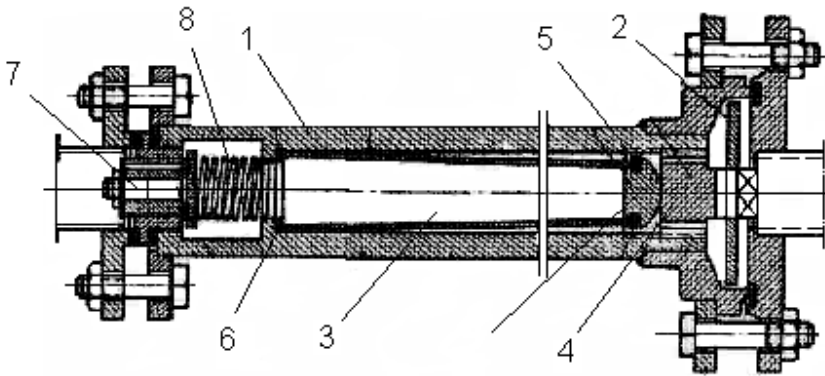


Рисунок 8.10- Металокерамічний вогнеперешкоджувач:

- 1- корпус;
- 2- диск;
- 3- металокерамічна бронзова трубка;
- 4- шайба з отворами;
- 5- грибок;
- 6- прокладки;
- 7- золотник;
- 8- пружина

У таких сумішей найбільша швидкість поширення полум'я, тому критичний діаметр гасячих каналів, навіть при атмосферному тиску коливається у межах 0,5 – 0,7 мм. Канали таких малих розмірів можуть бути отримані, наприклад, у разі застосування вогнеперешкоджуючого елемента із металокераміки або металоволокна. Пористі металокерамічні елементи у вигляді дисків і трубок виготовляють шляхом пресування дрібних металевих кульок (порошків). Металево волокно виготовляється з проволочи діаметром 25 – 100 мкм. Отриманий із волокна волок підлягає подальшій обробці тиском та гарячим пресуванням.

### **Розрахунок параметрів вогнеперешкоджувачів.**

Діаметр каналу насадки або отвору сітки вогнеперешкоджувача, при якому тепловиділення від суміші, що горить, буде дорівнювати тепловтратам, називають „критичним діаметром”  $d_{кр}$ .

Безумовно, величина критичного діаметра каналу вогнеперешкоджувача буде залежати від характеру суміші та її концентрації.

Захист від поширення полум'я досягається в каналі, діаметр якого менший за критичний. Цей розмір (діаметр) каналу називають гасячим. Розрахунок вогнеперешкоджувача і полягає у визначенні критичного, а потім гасячого розміру каналу. Співвідношення між критичними і гасячими розмірами, а також конструктивні особливості вогнеперешкоджувача вибирають з урахуванням відповідних експериментальних даних.

Відомі різні принципи і методи розрахунку вогнеперешкоджувачів, засновані на різних припущеннях про механізм тепловтрат із зони полум'я і гасіння полум'я.

Найбільш поширеним методом розрахунку параметрів вогнеперешкоджувачів є метод Я.Б. Зельдовича. Основним недоліком цього методу є те, що він не поширюється на особливі умови горіння, коли не відбувається тепловідведення в нагріті стінки каналу.

На підставі численних досліджень було встановлено, що на межі гасіння полум'я досягається постійне значення критерію Пекле, який є критерієм подібності для процесів конвекційного теплообміну. При цьому величина числа Пекле коливається в межах 60-80 і приблизно однакова для всіх горючих сумішей і вогнегасних насадок у широкому діапазоні зміни умов досліду.

Знаючи, що критерій Пекле на межі затухання полум'я в реальних вогнеперешкоджувачах є величиною постійною, можна легко знайти величину критичного діаметра вогнеперешкоджувача. Критерій Пекле стосовно до даної умови виражається як:

$$Re_{кр} = \frac{u_H d_{кр}}{a}, \quad (8.1)$$

де  $Re_{кр}$  - критерій Пекле, на межі гасіння полум'я дорівнює 65;

$a$  - коефіцієнт теплопровідності,  $m^2/s$ ;

$U_H$  - нормальна швидкість поширення полум'я,  $m/s$ ;

$d_{кр}$  - критичний діаметр каналу насадки вогнеперешкоджувача,  $m$ .

Як відомо, коефіцієнт теплопровідності дорівнює

$$a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho}, \quad (8.2)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності горючої суміші,  $Вт/(м \cdot К)$ ;

$C_p$  - теплоємність горючої суміші,  $Дж/(м \cdot К)$ ;

$\rho$  - густина горючої суміші,  $кг/м^3$ .

Оскільки рівняння газового стану має вид:

$$PV = GRT, \quad (8.3)$$

де  $R$  - газова стала,  $8314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ ;

$T$  - температура горючої суміші,  $К$ ;

$P$  - тиск горючої суміші,  $кПа$ ;

$G$  - маса горючої суміші,  $кг$ ;

$V$  - об'єм, що займається газовою сумішшю,  $м^3$ , тоді

$$\rho = \frac{G}{V} = \frac{P}{RT}, \quad (8.4)$$

$$a = \frac{\lambda RT}{c_p P}. \quad (8.5)$$

Підставляючи значення (8.4) та (8.5) у формулу (8.1) і розв'язуючи щодо критичного діаметра каналу, отримаємо:

$$d_{кр} = \frac{Re_{кр} \cdot \lambda \cdot R \cdot T}{u_H \cdot C_p \cdot \rho}. \quad (8.6)$$

У відповідності до експериментальних даних, дійсний діаметр каналу вогнегасної насадки вогнеперешкоджувача повинен прийматися з урахуванням подвійного коефіцієнта запасу надійності, тобто

$$D = (0,5 - 0,8) \cdot d_{кр}. \quad (8.7)$$

Для насадок, виконаних із гранул (гравію, скляних або порцелянових кульок, кілець), необхідно від розрахованого розміру каналу переходити до розміру гранул.

При цьому розмір пор в насадці з однаковим розміром твердих часток, які можна вважати кулеподібними, приймають рівним 0,25 – 0,36 величини діаметра кульки, тобто

$$d_{гр} = (4 - 3) \cdot d, \quad (8.8.)$$

$d_{гр}$ - діаметр гранул;

$d$ - діаметр каналу вогнеперешкоджувача.

### **Гідравлічний опір вогнеперешкоджувачів.**

Комунікаційні вогнеперешкоджувачі постійно чинять гідравлічний опір технологічному потоку, вимагаючи додаткових затрат енергії на переміщення газу. Втрати напору у вхідних і вихідних патрубках можуть бути визначені з використанням значень коефіцієнтів місцевих опорів окремих елементів, використовуючи довідникові дані Гідравлічний опір безладно завантаженої насадки визначити шляхом додавання опорів окремих елементів неможливо, тому насадку прийнято характеризувати одним коефіцієнтом опору  $\xi$ , який, у залежності від числа Рейнольдса, можна розрахувати за наступними емпіричними формулами:

$$Re \leq 10, \xi = (38/Re); \quad (8.9)$$

$$10 \leq Re \leq 250, \xi = (29/ Re) + (1,25/ Re^{0,15}); \quad (8.10)$$

$$250 \leq Re \leq 5000, \xi = 1,56/ Re^{0,15}; \quad (8.11)$$

Тоді втрати напору  $\Delta P$  в насадці можна визначити за формулою

$$\Delta P = (2 \xi H \cdot v \cdot \omega^2)/(d_e \cdot g), \quad (8.12)$$

де  $H$  - висота шару насадки;

$v$  - густина газу;

$\omega$  - швидкість газу у вільному перерізі насадки;

$g$  - прискорення сили ваги;

$d_e$  - еквівалентний діаметр пор насадки, визначається як

$$d_t = 4 \varepsilon / S, \quad (8.13)$$

де  $\varepsilon$  - пористість насадки;

$S$  - питома поверхня насадки.

При визначенні числа Рейнольдса необхідно користуватись величиною еквівалентного діаметра насадки. Пористість та питома поверхня насадок із різних кілець Рашига, які найбільш часто використовуються у вогнеперешкоджувачах, наведені у табл.8.2.

Таблиця 8.2- Характеристика насадки з кілець Рашига

Розміри кілець, мм	Кількість кілець в 1м <sup>3</sup>	Пористість $\varepsilon$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	Питома поверхня $S$ , м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>
50×50×1	6500	0,94	100
35×35×1	19000	0,93	160
25×25×0,8	50000	0,92	220
25×25×0,3	52000	0,97	220
15×15×0,15	230000	0,92	350
18×18×0,5	120000	0,92	300
12×12×0,5	440000	0,90	430
10×10×0,5	770000	0,88	500
8×8×0,3	1500000	0,90	630

Якщо у газовому потоці є механічні домішки або пари, здатні до кристалізації та полімеризації, то вогнеперешкоджуючий елемент швидко забрудниться, і його гідравлічний опір буде зростати. У цих випадках вогнеперешкоджувачі повинні періодично очищатися, що в свою чергу створює незручності під час експлуатації.

**Догляд за вогнеперешкоджувачами.** При роботі вогнеперешкоджувачів необхідно враховувати можливість забруднення насадки продуктами корозії, твердими і смолистими відкладеннями, а також зледеніння її в холодну пору року.

Закупорка отворів насадки вогнеперешкоджувача, як відмічалось раніше, викликає збільшення опору проходженню суміші, підвищення тиску в апаратах і ємностях або утворення вакууму в період відкачки рідини, що призводить до аварій. Запобігання таких аварій досягається правильним розміщенням вогнеперешкоджувачів на лініях і відповідному догляді за ними.

Вогнеперешкоджувачі на лініях слід розташовувати так, щоб до них був вільний доступ для огляду і перевірки. Якщо лінія з приміщення виходить назовні, то вогнеперешкоджувач краще розмістити ближче до місця викиду суміші, але в межах приміщення. У цьому випадку за ним легше вести нагляд і менше ймовірності зледеніння насадки.

Для резервуарів з легкозаймистими рідинами вогнеперешкоджувачі встановлюють на дихальних лініях - перед дихальними і гідравлічними клапанами, як показано на рис. 8.11.

У процесі експлуатації вогнеперешкоджувачів за ними ведеться систематичний догляд. Перевірку й очищення вогнеперешкоджувачів здійснюють за ступенем збільшення опору насадки, але не рідше одного разу на місяць у періоди з температурою повітря вище 0°C і не рідше двох разів на місяць у періоди з температурою повітря нижче 0°C.

Під час огляду перевіряють справність і чистоту насадки, стан ущільнювальних прокладок. Для огляду й очищення насадки без демонування вогнеперешкоджувача на його корпусі



влаштовують бокову кришку. Знявши її, можна вийняти касету або пакет сіток з корпуса вогнеперешкоджувача.

При засміченні насадки вогнеперешкоджувача, її очищають, промивають і висушують. Вогнегасні елементи або насадку, які стали непридатними, замінюють новими. Найпростішим способом регенерації металокерамічних елементів насадки вогнеперешкоджувачів у разі засмічення їх пилом є зворотна продувка газом.

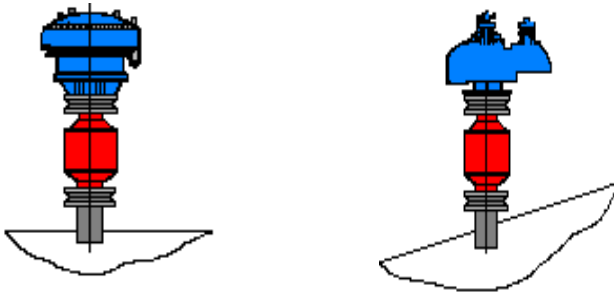


Рисунок.8.11- Розташування вогнеперешкоджувача на дихальній лінії резервуара з ЛЗР

За безпеки замерзання вологи в насадці вогнеперешкоджувача варто застосовувати пожежобезпечні системи підігріву. Нові конструкції вогнеперешкоджувачів повинні випробовуватися на міцність, надійність гасіння полум'я і гідравлічний опір.

## 8.2 Вогнеперешкоджувачі рідинні

**Рідинними вогнеперешкоджувачами** (гідравлічними затворами) називають такі захисні пристрої, гасіння полум'я в яких відбувається в процесі барботування газоподібної суміші через шар рідини.

Гідравлічні затвори, які виконують роль вогнеперешкоджувачів, повинні надійно гасити полум'я і затримувати поширення вибухової хвилі, забезпечувати

мінімальне віднесення рідини потоками парів чи газів, що проходять, мати невеликий гідравлічний опір.

**Види та принцип дії гідравлічних затворів.** Рідинні запобіжні затвори (гідрозатвори) застосовують в основному для захисту ацетиленових генераторів від можливих вибухів за вогневої обробки металів. Крім цього їх можна використовувати для захисту іншого обладнання, в якому обертаються вибухонебезпечні гази та пари ЛЗР.

**Принцип дії гідрозатвору** полягає у розподілі суцільного потоку газу на безліч дрібних газових бульбашок за допомогою рідини, по яких полум'я поширюватись не може.

Надійність гасіння полум'я в гідрозатворах забезпечується наявністю певної висоти шару рідини, через який мусить проходити газова суміш, що горить, і роздрібненням газового потоку на дрібні цівки або окремі бульбашки. При цьому створюються умови для інтенсивного охолодження рідиною продуктів реакції, у результаті чого припиняється горіння.

Звичайно гідрозатвори класифікують (рис. 8.12) за тиском горючого газу - на затвори низького тиску (відкритого типу) та середнього тиску (закритого типу), а також за призначенням на постові з пропускною здатністю до  $3,2\text{м}^3/\text{год}$  та центральні з пропускною здатністю вище  $3,2\text{м}^3/\text{год}$ .

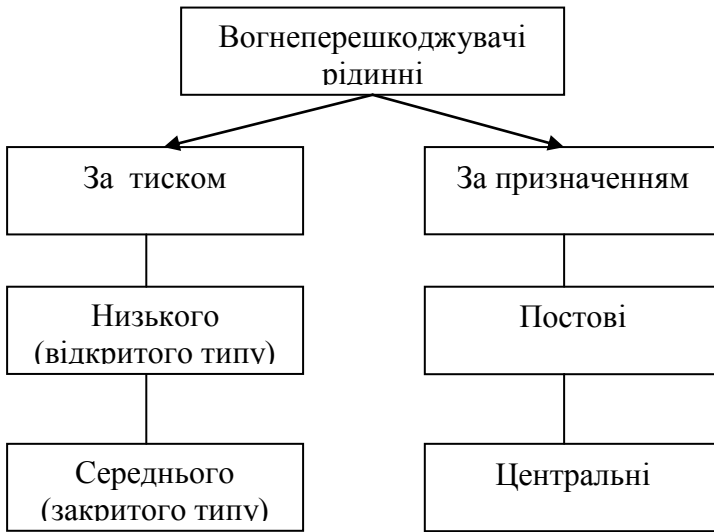


Рисунок 8.12 - Класифікація рідинних вогнеперешкоджувачів (гідрозатворів)

**Гідрозатвори відкритого типу** мають постійний зв'язок з атмосферою, і гранично допустимий робочий тиск у них не високий.

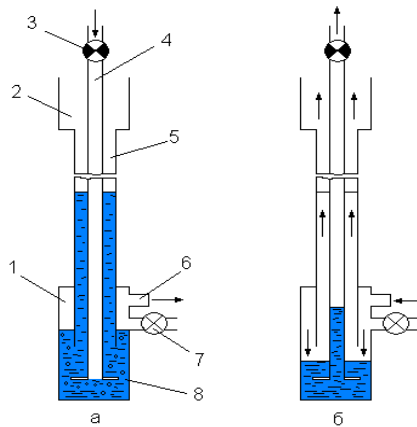


Рисунок 8.13- Схема гідрозатвору відкритого типу

На рис. 8.13 приведена схема найпростішого гідрозатвору відкритого типу, який складається із корпусу 1, вирви 2 і трубки 4, що підводить газ, яка розміщена усередині запобіжної трубки 5. Горючий газ надходить до затвора по трубці 4. У корпус затвору наливають воду до рівня контрольного крану 7. Коли газ поступає в затвор через вентиль 3 (рис.8.13, а), він виходить через отвір у нижній частині трубки, яка відводить газ 4, огинає розсікач 8 і окремими бульбашками проходить через воду в корпус 1, де при цьому підвищується тиск. Газ виходить із затвора через ніпель 6. Оскільки запобіжна трубка 5 опущена нижче рівня води, то при підвищенні тиску в корпусі 1 частина води підіймається в зазор між трубками 4 і 5. Внаслідок цього закривається вихід горючого газу в атмосферу, і він направляється через ніпель 6 на потребу. Якщо внаслідок проходження полум'я тиск у затворі вище за звичайний (рис.8.13, б), то вода із корпусу 1 витискується в трубку 4, перекриваючи тим самим потрапляння газу в затвор, і в зазор між трубками 4 та 5.

Рівень води в корпусі знижується і, оскільки край трубки 5 розташований вище вихідного отвору трубки, що підводить газ 4, то відбувається викидання води і газу в атмосферу через кільцевий зазор між трубками. Після цього вода із вирви 2 стікає назад у корпус гідрозатвора.

На рис. 8.14 показаний гідрозатвор закритого типу великої пропускної здатності, який встановлюється в цехах з хімічної переробки ацетилену.

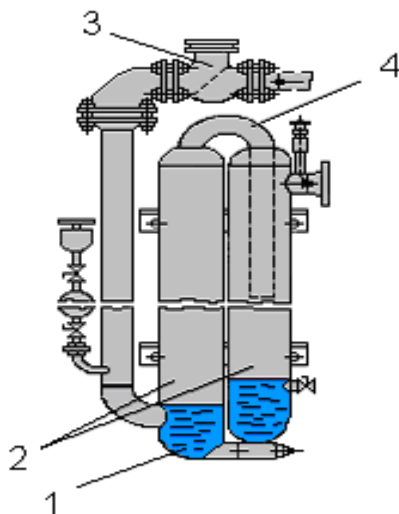


Рисунок 8.14- Гідрозатвор закритого типу

На вихідному патрубку встановлений зворотний клапан 3. Гідрозатвор має дві ємності 2, з'єднані між собою у верхній і нижній частинах. Під час зворотного удару тиск спочатку підвищується у правій ємності, і потім рівень рідини 1 в ній знижується, а в лівій – підвищується, надійно перекриваючи підвідний трубопровід до попадання полум'я у ліву ємність через верхній з'єднувальний трубопровід 4.

У деяких інших конструкціях подібних гідрозатворів верхній з'єднувальний трубопровід виготовляють у вигляді змійовика, чим ще більше уповільнюють попадання полум'я із правої ємності до лівої.

На рис. 8.15 показаний гідравлічний затвор у вигляді U-подібного коліна. Наявність постійного шару рідини в U-подібному коліні буде запобігати поширенню полум'я за відсутності рідини у трубі.

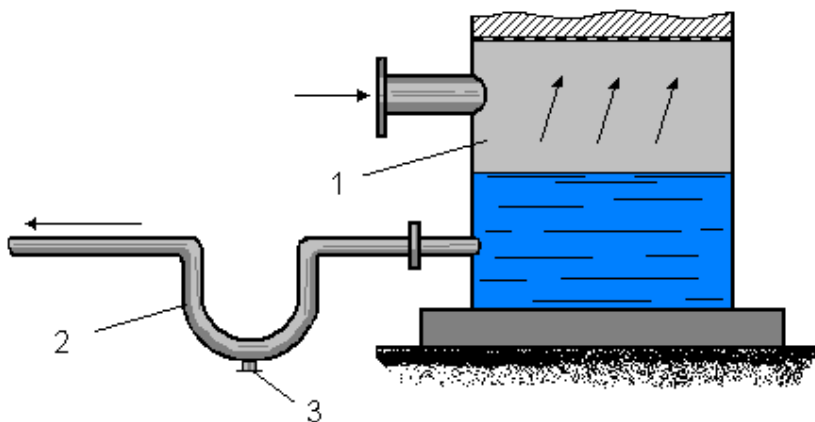


Рисунок 8.15- Гідравлічний затвор у вигляді U-подібного коліна на лінії  
 1- апарат; 2- гідравлічний затвор; 3- пробка

Для очищення від відкладень у нижній частині коліна є отвір, закритий кришкою.

Крім вказаних гідравлічних затворів, можуть застосовуватись пристрої, які заважають спорожненню трубопроводу від рідини у неробочі періоди. Такими пристроями є зворотні клапани. На рис. 8.16 показаний підземний резервуар з бензином, на вихідній трубі якого у спеціальній коробці змонтовані зворотні клапани, які запобігають спорожненню трубопроводу після закінчення чергового циклу видачі бензину споживачам.

Для уловлювання горючих рідин влаштовують спеціальні відстійники - нафтоловушки, які також захищають гідравлічними затворами від можливого поширення полум'я.

У деяких виробничих приміщеннях, наприклад, в насосних станціях, є відкриті лотки для відведення стічних та промивочних вод.

Якщо лотки стічних вод проходять з одного приміщення до іншого через глуху стіну, то влаштовують гідравлічний затвор, показаний на рис. 8.17.

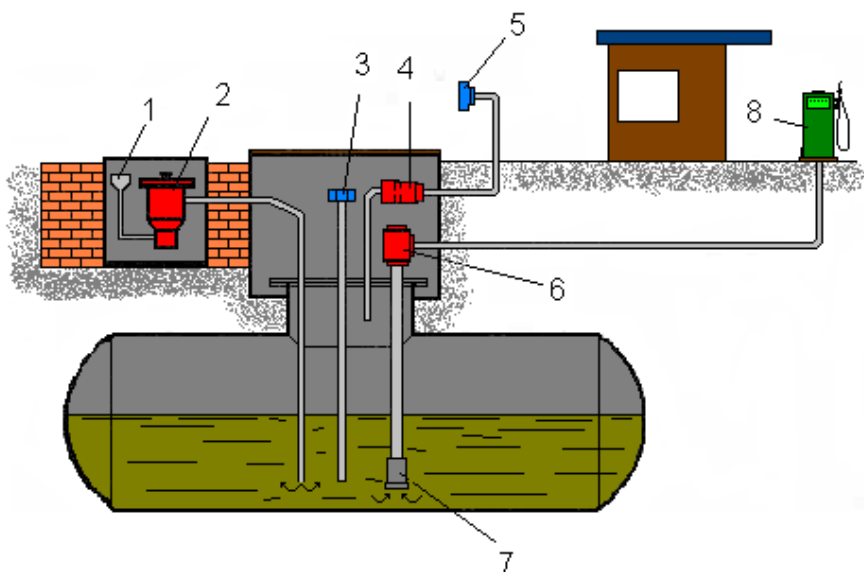


Рисунок 8.16- Підземне сховище бензину із захистом лінії вогнеперешкоджувачами та зворотним клапаном

- 1- зливна лійка; 2- фільтр (вогнеперешкоджувач сітчастий);  
 3 - труба для вимірювання рівня з вогнезахисною сіткою;  
 4, 5 - вогнеперешкоджувачі сітчасті на дихальній лінії;  
 6 - фільтр (вогнеперешкоджувач сітчастий) на витратній лінії;  
 7- зворотний клапан; 8 - роздаточна колонка

### **Вимоги при улаштуванні й експлуатації гідрозатворів.**

Постійний потік газу через гідравлічний затвор призводить до втрати рідини за рахунок випаровування і механічного виносу часток. У зв'язку з цим необхідно вживати заходів щодо підтримки постійного рівня рідини в гідрозатворі.

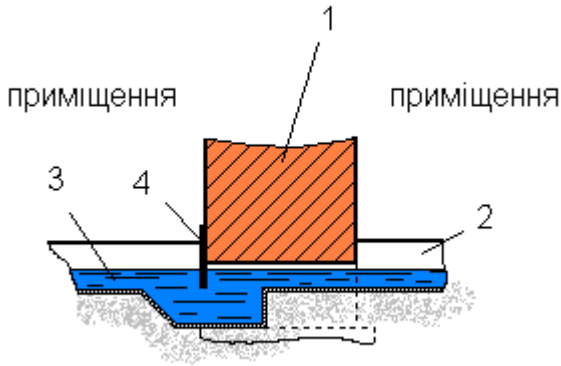


Рисунок 8.17- Гідравлічний затвор у лотку стічних вод  
 1- стіна; 2 - лоток; 3 - стічні води; 4 - щиток, який утворює гідрозатвор

При експлуатації гідравлічних затворів необхідно слідкувати за тим, щоб вони кріпилися обов'язково у вертикальному положенні. Рівень запірної рідини в них повинен бути не нижче рівня контрольного (пробного) краника. Наливати рідину і перевіряти її рівень у гідрозатворі слід за відключеної подачі газу. Не можна замість мембран ставити заглушки. Внутрішню і зовнішню поверхню гідрозатворів захищають від корозії.

Рідинні вогнеперешкоджувачі, що знаходяться в експлуатації повинні відповідати технічним умовам на їх виготовлення.

При роботі в зимовий час гідрозатвори варто розміщати в опалюваних приміщеннях, а якщо це не можливо зробити, то в якості запірної рідини слід використовувати розчин етиленгліколю або гліцерину.

Крім цього до конструкції будь-якого гідрозатвору пред'являють наступні основні вимоги:

1. Затвор повинен надійно затримувати поширення вибухової хвилі, забезпечувати при цьому повне перекриття лінії, що підводить газ. Для підвищення надійності



гідрозатвора необхідно виключити можливість утворення суцільних газових потоків, по яких полум'я може потрапити в лінію, що підводить газ.

2. Вихід рідини у вигляді бризок під час нормальної роботи повинен бути мінімальним, оскільки при зниженні рівня рідини ефективність гідрозатвора різко знижується. Під час газополум'яної обробки металів попадання води в шланги та пальник призводить до перебоїв у подачі газу, а також погіршує теплові властивості полум'я.

3. Гідравлічний опір затворів повинен бути мінімальним, з метою зниження затрат енергії на транспортування газу.

### **8.3 Затвори із твердих подрібнених матеріалів**

Полум'я може поширюватися по трубопроводах не тільки за наявності паро- або газоповітряних сумішей, але й у тому випадку, коли транспортуються тверді подрібнені матеріали або горючі відходи. При цьому можливе, наприклад, проскакування полум'я з топки до системи паливоподачі і поширення вогню проти руху горючої речовини до виробничих цехів.

Для попередження подібних явищ на трубопроводах монтують пристрої, які створюють щільні пробки з матеріалу, що транспортується, тобто сухі затвори. За допомогою сухого затвора на такій ділянці виключається можливість наявності повітряного простору в трубопроводі, а значить, і можливість поширення полум'я. Сухі затвори найчастіше створюються за допомогою шнекового живильника, схема якого показана на рис. 8.18.

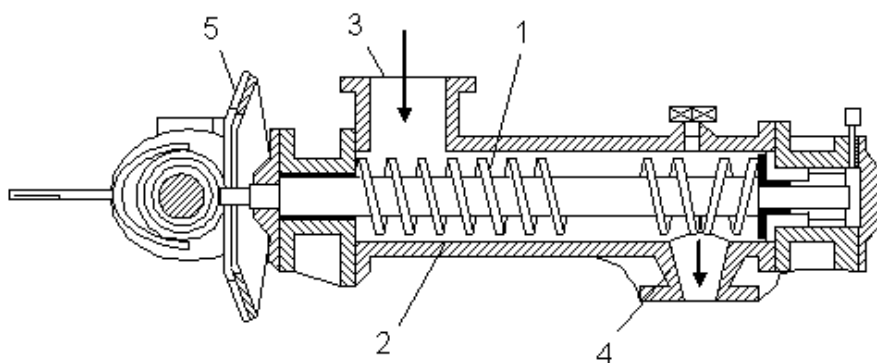


Рисунок 8.18- Шнековий затвор на лінії транспортування  
твердих здрібнених матеріалів

1- шнек; 2- корпус; 3- живильник; 4- патрубок для відповідного трубопроводу; 5- зубчаста передача

Шнековий живильник установлюють на горизонтальних ділянках паливоподачі. Щоб внутрішній об'єм шнека завжди був цілком заповнений матеріалом, доцільно зняти кілька витків на валові гвинта перед вихідним патрубком, як показано на рис. 8.18. Це забезпечить утворення пробки в корпусі шнека навіть при повному припиненні подачі матеріалу.

Шнеки встановлюють для рівномірної і порівняно безпечної подачі деревних відходів з циклонів на деревообробних комбінатах та льноджутових заводах. Шнеки встановлюють також на горизонтальних ділянках самопливних систем транспортування горючих здрібнених матеріалів у пиловугільних установках, на млинах, заводах прес-порошків тощо.

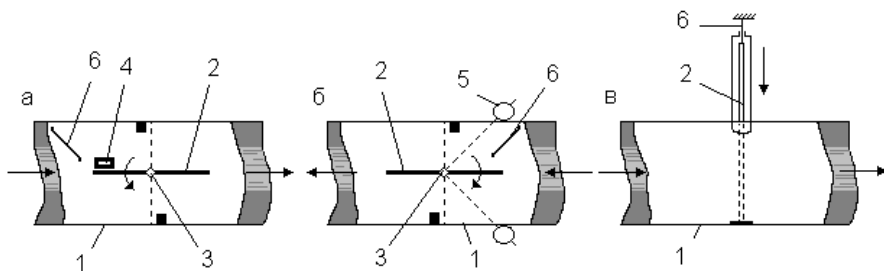
Перешкоди проти поширення вогню по трубопроводах у виді пробок з переміщуваного здрібненого матеріалу можуть створюватися й іншими способами.

Роль сухого затвора можуть виконувати бункери, що встановлюються між циклонами і топками. У цьому випадку необхідно стежити, щоб усередині бункера завжди знаходилася достатня кількість твердого матеріалу.

## 8.4 Швидкодіючі засувки, заслінки та полум'явідсікачі

Захисні пристрої, що розглянуті вище, характерні тим, що рух середовища по трубопроводах в момент гасіння полум'я не припиняється. Поряд з подібними захисними пристроями застосовуються різного роду засувки і заслінки, які в необхідний момент перекривають переріз трубопроводу, тим самим припиняючи рух суміші і поширення полум'я. Ефективність вогнезахисної дії заслінок та засувок залежить від своєчасного їх спрацьовування і щільності перекриття перерізу трубопроводу.

Потреба у запобіганні проскакуванню полум'я і задимлення приміщень запобігаються тільки в тому випадку, якщо засувка щільно перекриває перетин труби ще до наближення до неї фронту полум'я. Щоб засувка за будь-якої швидкості поширення полум'я встигла спрацювати, її необхідно обладнати автоматично діючим приводом, що звичайно складається з датчика і виконавчого механізму. Датчики найчастіше реагують на наявність підвищеної температури і рідше - на випромінювання розжарених часток (іскри, полум'я) та на дим. Виконавчий механізм складається з пристрою, що з'єднує засувку з датчиком, і пристосування, що забезпечує щільність її закриття. Схеми найпростіших автоматично діючих засувок показані на рис.



8.19.

Рисунок 8.19- Схеми найпростіших автоматично діючих заслінок і засувок

а - з вантажем на заслінці, що обертається; б - з противагою на засувці, що обертається; в - з шибром, що падає; 1 – трубопро-

від; 2 - заслінка (шибер); 3 - вісь заслінки; 4 - вантажі; 5 – проти-вага; 6 - привід заслінки (тросик з легкоплавким замком тощо)

**Автоматично діючі засувки або заслінки** мають звичайно обертовий шибер або шибер, що падає. У заслінках з обертовим шибером щільність закривання досягається невеликим вантажем, що монтується до нього, пружиною або спеціальною проти вагою, закріпленою зовні на осі шибера. У засувках з падаючим шибером ущільнення досягається за рахунок його власної ваги.

Своєчасність спрацьовування заслінок і засувок оцінюють шляхом порівняння тривалості поширення полум'я від апарата, що захищається, до місця розташування заслінки з тривалістю її спрацьовування.

Заслінка або засувка встигне перекрити перетин трубопроводу, якщо тривалість спрацьовування її  $\tau_1$  буде менше тривалості руху полум'я  $\tau_2$  до місця розташування засувки, тобто

$$\tau_1 < \tau_2 \quad (8.14)$$

Тривалість спрацьовування вогнезатримуючої засувки залежить від інерційності датчика і швидкості руху самої засувки чи шибера.

Час руху полум'я можна визначити за формулою:

$$\tau_2 = \frac{l}{\omega}, \quad (8.15)$$

де  $l$  - місце від місця виникнення горіння до засувки (заслінки), м;

$\omega$  - швидкість горіння паро-газоповітряної суміші або горючих відкладень в трубопроводах, м/с.

Звичайно швидкість поширення полум'я залежить від багатьох факторів.

Локалізувати вибух, тобто не допустити поширення полум'я по технологічних комунікаціях можна також за допомогою швидкодіючих відсікаючих пристроїв, які спрацьовують

від спеціальних високочутливих датчиків, що реагують на полум'я або на тиск вибуху.

Основна вимога до полум'явідсікачів - швидкодія. Загально-промислова запірна трубопровідна арматура з пневмоприводом для цього не придатна через свою інерційність.

За кордоном застосовуються швидкодіючі відсікачі з поворотною заслінкою. У робочому стані заслінка відкрита, а при спрацюванні електродетонатора звільняється засувка, що утримує скручену пружину, яка в свою чергу швидко повертає заслінку в закриті положення.

На промислових підприємствах нашої держави застосовуються **швидкодіючі поворотні клапани** з приводом від енергії вантажу, що падає. Клапани є напівавтоматичними запірними пристроями, які призначені для автоматичного перекриття газопроводів діаметром 200, 300, 400 та 500 мм. Вони автоматично закриваються при відключенні електромагніту і відкриваються тільки вручну. Запірний орган складається з тарілки 3 і важеля 4 (рис. 8.20). З'єднання тарілки з важелем рухоме, що забезпечує правильну посадку тарілки на сидло 2. Запірний орган встановлений усередині корпусу 1. Ущільнююча поверхня виготовлена із маслобензостійкої м'якої гуми. На кінці валу 5 встановлений ричаг 9 налаштування клапана. Приводом клапана є електромагніт 6, встановлений на кронштейні. Електромагніт розрахований на короточасний режим роботи і знаходиться під струмом тільки в момент закриття клапана. Він живиться від мережі постійного струму напругою 110 та 220 В потужність, яку споживає електромагніт, становить 600 Вт. На кінцевій частині електромагніту є засувка 7. До важеля приварений диск 8 з пазом.

При подачі напруги на обмотку електромагніту сердечник переміщується уверх, і засувка 7 виходить із зачеплення з диском 8, у результаті чого тарілка 3 під дією власної сили ваги та вантажу 10 переміщується і перекриває прохідний переріз клапана. Час спрацювання клапанів такої конструкції 2-3 с. Для відкриття клапана важіль 9 вручну повертають на  $90^{\circ}$ , засувка

входить у паз диска, і клапан фіксується у відкритому положенні.

Швидкодія відсікачів, опис яких приведений вище, у багатьох випадках виявляється недостатньою для надійного захисту трубопроводів від поширення полум'я під час вибуху. Найбільш високу швидку дію мають відсікачі з піропроводом.

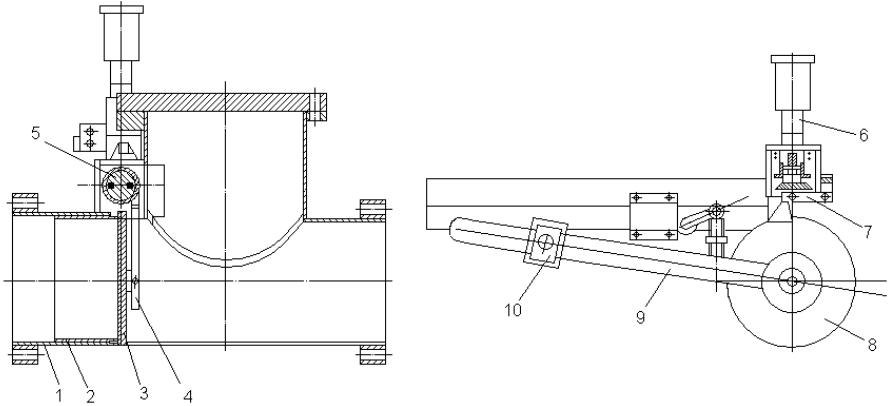


Рисунок 8.20 - Поворотний вантажний відсікаючий клапан

Швидкодіючий полум'явідсікач із запірним органом у вигляді сипучого матеріалу (рис. 8.21) можна використовувати для локалізації полум'я в трубопроводах, по яких транспортуються як пароповітряні, так і пилоповітряні суміші, наприклад, в лініях пневмотранспорту горючих порошків. Полум'явідсікач складається із корпусу 1 з приєднувальними патрубками, обичайки 2 і кришки 3, в якій розміщується пірозаряд 4. Роль запірного органу виконує сипучий матеріал 6, наприклад пісок, який знаходиться між верхньою мембраною 5 та пакетом, що складається з нижньої мембрани 7, двох гнучких опорних пелюсток 8 і захисної плівки 9.

При подачі командного електричного імпульсу відбувається займання пірозаряду, газу, які при цьому утворюються, руйнують мембрани і зі значною швидкістю переміщують вниз сипучий матеріал.

Опорні пелюстки під дією потоку сипучого матеріалу відгинаються і перекривають обидві патрубки полум'явідсікача, а сипучий матеріал щільно заповнює усю його нижню порожнину. Основна функція опорних пелюсток полягає в тому, щоб попередити вихід сипучого матеріалу через приєднувальні патрубки. Полум'явідсікач, що спрацював, не забезпечить герметичного перекриття трубопроводу, але поширення полум'я через нього виключається повністю. Час спрацювання даної конструкції полум'явідсікача не більше ніж 0,05 – 0,2 с

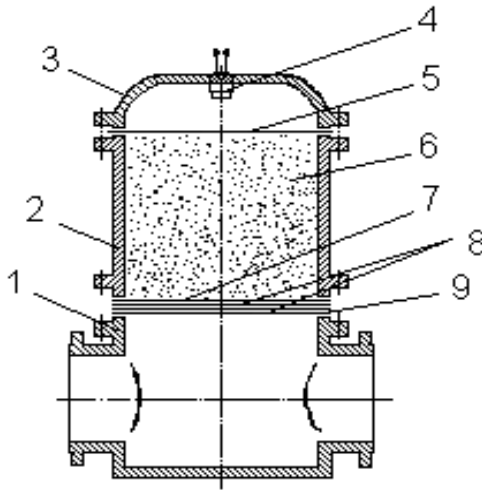


Рисунок. 8.21 - Швидкодіючий полум'явідсікач із запірним органом у вигляді сипучого матеріалу

В основному відсікачі вмикаються у роботу завдяки подачі спеціального командного сигналу від високочутливих індикаторів. Відомі конструкції автоматичних відсікаючих пристроїв, які самі чутливі до вибуху. Одним із пристроїв такого типу є автоматичний відсікаючий клапан (рис. 8.22). Він складається із корпусу 1 з входним і вихідним патрубками і запірному органу з приводом та пристроєм, що перемикається. Останній має привідний елемент 6 і золотниковий перемикач 5, який за допомогою трубки 3 може з'єднувати площину корпусу приводу 9 з площиною корпусу 1 або з атмосферою.

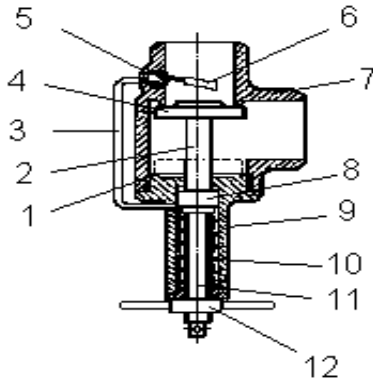


Рисунок 8.22 - Автоматичний відсікаючий клапан

**Автоматичний відсікаючий клапан** працює наступним чином. У черговому режимі запірний елемент 4 віддалений від сідла 7, а поршень 8 стискує пружину 10. Надпоршнева порожнина корпуса приводу 9 зі сторони штоку 2 з'єднується через трубку 3 і золотниковий перемикач 5 з порожниною корпуса 1 клапана. Тиск технологічного середовища, що поступає по цьому каналові, діє на кільцеву ділянку поршня 8 зі сторони штоку 2 і утримує пружину 10 у стиснутому стані, тобто клапан відкритий.

Під час падіння тиску в технологічній лінії нижче визначеного зусилля пружини 10 забезпечує виштовхування технологічного середовища із надпоршневої порожнини корпуса приводу 9 і переміщує запірний орган в закриті положення.

При виникненні аварійної ситуації елемент 6 приводить в дію золотниковий перемикач 5, у результаті чого надпоршнева порожнина сполучується з атмосферою, тиск у ній різко падає, і клапан закривається. Після усунення причин аварії клапан приводять у відкрите положення за допомогою гайки 12, яку накручують на гвинт 11, а перемикач 5 встановлюють у вихідне положення. Після подачі тиску в технологічну лінію привідну гайку 12 переміщують у крайнє нижнє положення, і клапан знову готовий до спрацьовування.



На рис. 8.23 приведена схема полум'явідсікача-зрошувача із заслінкою, що повертається

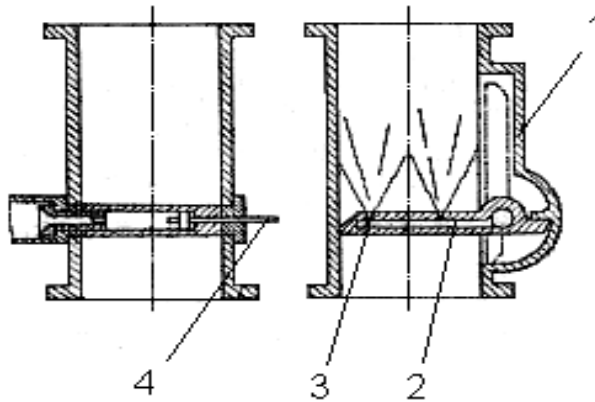


Рисунок 8.23- Схема полум'явідсікача-зрошувача із заслінкою, що повертається

Відсікач складається із корпусу 1 і заслінки 2, при повороті якої на  $90^\circ$  відбувається перекриття потоку технологічного середовища. Поворот заслінки забезпечується реактивною силою струменя вогнегасної рідини, що витікає через розпилювач 3. У відкритому положенні заслінка утримується гідравлічним замком 4, який під час подачі рідини звільнює заслінку від зчеплення з ним.

Перевага заслінок, що обертаються, полягає у їхній компактності, однак вони поступаються шибєрним відсікачам надійністю, оскільки заслінки, що обертаються мають менше зусилля закривання, і при попаданні між заслінкою та корпусом сторонніх предметів чи гранул продукту, який транспортується, можливе неповне закривання відсікача.

У ряді випадків локалізацію полум'я у трубопроводі можна здійснити за допомогою загороджувальних форсуночних пристроїв, схема яких показана на рис. 8.24.

Усередині трубопроводу 1 (рис. 8.24, а) розташовано декілька сопел 2 з радіально направленими отворами. Через трубку 3 до сопел подається вогнегасна суміш, наприклад, вода. В іншому варіанті (рис.8.24, б) у центрі трубопроводу 1 розташоване сопло 2, направлене уздовж осі трубопроводу. Для випуску води служить патрубок 4.

Форсуночні пристрої утворюють у трубопроводі загороджувальну водяну завісу, крізь яку полум'я проникнути не може; гази, навпаки, охолоджуються і проходять вільно.

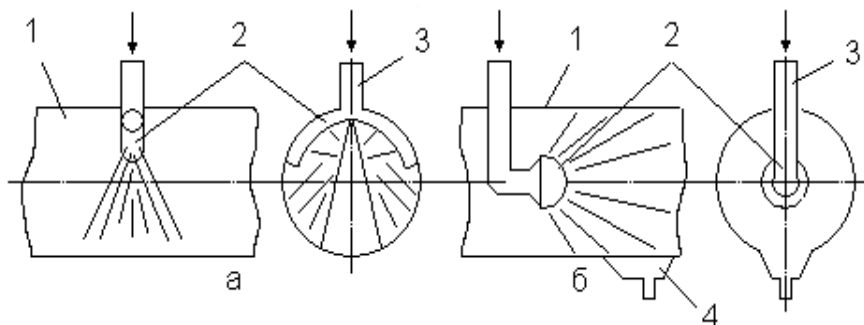


Рисунок 8.24- Форсуночні загороджувальні пристрої  
а- з радіально направленими соплами; б- з осьовими соплами

Застосування вище приведених пристроїв не виключає можливості використання засувок та заслінок ручної дії. Своєчасне закриття ручної заслінки при виникненні небезпеки попередить поширення полум'я і продуктів згоряння, наприклад, по повітроводах із апарата в апарат або з одного приміщення до іншого. Тому такі засувки та заслінки встановлюють на повітроводах безпосередньо біля апаратів та робочих місць, від яких здійснюється відсмоктування повітря. Засувки розміщують у найбільш доступних місцях. Якщо доступ до засувок забруднений, то їх оснащують системою дистанційного пуску.

Під час аварій та пошкоджень апаратів і трубопроводів з ЛЗР та ГР вони розтікаються по території підприємства, по підлозі виробничих приміщень, стікають із верхніх поверхів на нижні, затікають у приямки, траншеї тощо. Таку небезпеку

можна знизити за рахунок використання технічних засобів, які дозволяють швидко вимикати пошкоджені ділянки трубопроводів з горючими рідинами і тим самим знижувати кількість речовин, що вийшли назовні, а також за рахунок улаштування різного роду перешкод.

Своєчасність та швидкість заходів, які застосовуються для локалізації пошкодження, залежить від можливості швидкого виявлення місця пошкодження, а також від наявності спеціальних пристроїв, які обмежують вільне розтікання горючої рідини до місця аварії.

Пошкодження на ділянках технологічного процесу можна виявити по різких відхиленнях заданих параметрів. Так, наприклад, пошкодження трубопроводу або апарата можна встановити по різкому зниженню тиску, збільшенню швидкості руху продукту, а за наявності стаціонарних газоаналізаторів - підвищенню концентрації горючих парів у повітрі понад допустиму величину.

Для відключення під час аварії апаратів чи трубопроводів використовують також автоматичні засувки та відсікачі потоку рідини. Імпульсом для їх спрацьовування, як було сказано вище, є різке падіння тиску чи збільшення швидкості руху продукту у трубопроводі.

На рис. 8.25 показаний автоматичний клапан з приводом від поршня. Об'єм трубопроводу і простір над поршнем клапана з'єднані трубою, яка має дросель з невеликим отвором. За нормального стану системи тиск у трубопроводі і тиск над поршнем рівні - хлопавка клапана відкрита. За різкого зниження тиску поршень буди давити на хлопавку і закриє її. Достойнством цього клапана є те, що він закривається проти течії потоку і не викликає гідравлічних ударів.

Крім автоматичних засувок та хлопавок, використовують також швидкісні **клапани-перервники** потоку рідини при аварії трубопроводу. За нормальної витрати рідини у трубі, а значить за нормальної швидкості руху перервники потоку вільно пропускають рідину. При збільшенні витрати і

швидкості в 1,5 - 2 рази клапани спрацьовують і перекривають переріз трубопроводу.

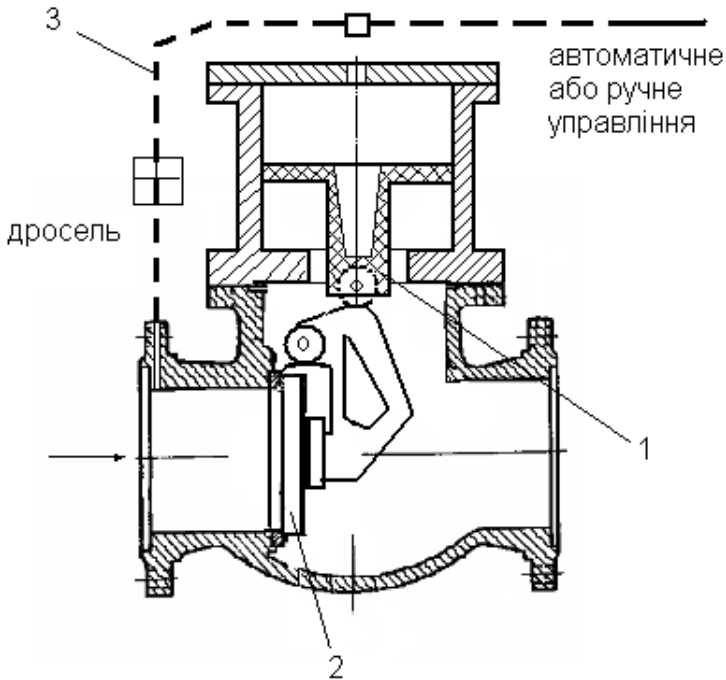


Рисунок 8.25- Автоматичний поршневий клапан  
1- поршень; 2- хлопавка; 3- з'єднувальна трубка

Швидкісні клапани-перервники потоку можуть бути пружинними та поплавковими. Схема поплавкового клапану показана на рис. 8.26.

Клапани можуть встановлюватись на вертикальних і горизонтальних лініях.

Швидкісні клапани-перервники запобігають розливу рідини під час аварії тільки зі сторони джерела подачі продукту, тобто вони не дають рідині виходити через пошкоджену ділянку у напрямку їх нормальної подачі. Але ці клапани не захищають від розливу продукту через пошкоджену ділянку зі сторони споживача, тобто зворотного потоку рідини.

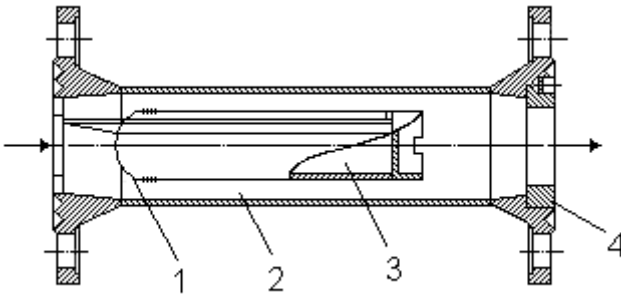


Рисунок 8.26- Швидкісний клапан-перервник потоку рідини  
 1- направляючі ходи клапана; 2- корпус; 3- клапан; 4- сідло клапана

Для захисту зворотного потоку рідини при пошкодженні лінії використовують зворотні клапани. Зворотні клапани можуть бути поворотними, шаровими тощо. Конструкція одного із зворотних клапанів показана на рис. 8.27.

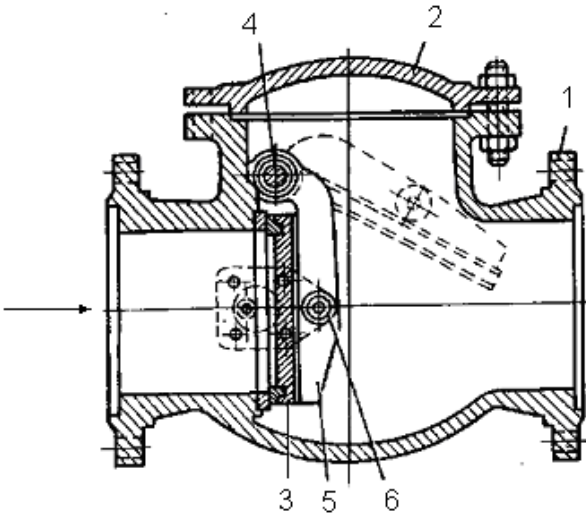


Рисунок 8.27- Клапан зворотний поворотний  
 однозолотниковий

1- корпус; 2- кришка; 3- диск-клапан; 4- вісь важеля; 5- важіль; 6- вісь важеля

Клапани-перервники і зворотні клапани частіше за все встановлюють на нагнітальних та витратних лініях скрапленого газу. Кількість захисних приладів на кожній лінії визначається, виходячи із конкретних умов.

За відсутності автоматичних пристроїв, що обмежують вихід рідини назовні із пошкодженого трубопроводу або апарата, і за неможливості використання ручних засувок вдаються до створення протитиску шляхом подачі до місця пошкодження якої-небудь негорючої речовини (води, інертного газу тощо).

Так, під час аварії трубопроводу з горючою рідиною або скрапленим газом можна підключитись до нього перед або після місця пошкодження і закачувати воду, утворюючи тиск більше, ніж робочий тиск рідини. У цьому випадку вода відтіснить горючу рідину і сама буде виходити через пошкодження. При пошкодженні нижньої частини корпусу ємностей, резервуарів або апаратів з горючими рідинами, які легші за воду і не розчиняються в ній, в апарати інтенсивно закачують воду, тим самим підвищуючи рівень продукту вище місця пошкодження.

### **Контрольні питання:**

1. Приведіть класифікацію сухих вогнеперешкоджувачів.
2. У чому полягає принцип дії вогнеперешкоджувачів?
3. Дайте визначення поняття критичного діаметру?
4. У чому полягає сутність методу розрахунку параметрів вогнеперешкоджувачів?
5. Поясніть, що таке гідравлічний опір вогнеперешкоджувачів?
6. Назвіть причини виходу із ладу вогнеперешкоджувачів?
7. В чому полягає догляд за вогнеперешкоджувачами?
8. Який принцип дії рідинних вогнеперешкоджувачів?
9. Приведіть класифікацію рідинних вогнеперешкоджувачів.

10. Які вимоги до улаштування та експлуатації гідрозатворів?

11. Назвіть способи запобігання поширенню пожежі по трубопроводах, в яких транспортуються тверді горючі матеріали?

12. У чому полягає улаштування та принцип дії відсікаючих клапанів?

13. У чому полягає принцип дії автоматичних поршневих клапанів?

14. У чому полягає принцип дії зворотних клапанів?

## ГЛАВА 9. ЗАХИСТ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД РУЙНУВАННЯ ПІД ЧАС ВИБУХУ

Вибух горючого середовища усередині обладнання і виробничих приміщень є однією з найбільш небезпечних надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Вибухи у виробничих приміщеннях нерідко є наслідком попередніх вибухів у обладнанні.

Руйнування та пошкодження апаратів, що викликані вибухом, сприяють швидкому поширенню пожежі, збільшенню її масштабів. Вибухи ускладнюють дії підрозділів з пожежогасіння та ліквідації аварій, є причиною травмування і загибелі людей. Тому вибухозахист технологічного обладнання є однією з головних задач у справі забезпечення вибухобезпеки виробництв.

Під вибухом розуміють широке коло явищ, пов'язаних з виділенням великої кількості енергії в обмеженому об'ємі за дуже короткий проміжок часу. Головна ознака вибуху – утворення в локальній зоні підвищеного тиску, поширення в навколишнє середовище вибухової хвилі.

Комплекс методів та засобів захисту технологічного обладнання повинен включати (у послідовності від стадії виникнення горіння):

- запобігання утворення та спалахування горючої суміші усередині технологічного обладнання;
- придушення загорання, що виникає усередині обладнання, на початковій стадії;
- застосування міцного обладнання, яке здатне витримувати повний тиск вибуху;
- використання пристроїв для безпечного скидання вибуху (вибухові клапани та запобіжні мембрани);
- використання зовнішніх огорожень для захисту навколишнього простору від вражаючої дії вибухової хвилі та уламків, що розлітаються.



Отже, під вибухозахистом технологічного обладнання розуміється попередження його руйнування внаслідок спалахування паро- чи пилоповітряних сумішей, які знаходяться в ньому.

Технологічні регламенти більшості виробничих процесів з переробки горючих матеріалів розробляються таким чином, щоб не допустити утворення вибухонебезпечних концентрацій. Але практика показала, що, не дивлячись на це, вибухонебезпечні суміші в апаратах і трубопроводах утворюються часто. Утворення вибухонебезпечних сумішей і аварії відбуваються внаслідок порушення співвідношення потоків газів, що змішуються, через відсутність або несправність регуляторів тиску і витрати, зворотних і відсічних клапанів, блокувань, а також внаслідок помилок обслуговуючого персоналу. Потенційно вибухонебезпечними є процеси переробки горючих продуктів під вакуумом, коли вибухонебезпечні концентрації виникають при розгерметизації системи.

В обладнанні, в якому обертаються тверді подрібнені горючі матеріали (порошки), вибухонебезпечні пилоповітряні суміші існують постійно при нормальному режимі роботи технологічного обладнання, і те, що на подібних виробництвах вибухи відбуваються не дуже часто, можна пояснити тільки тим, що для ініціювання вибухів пилу необхідно потужне джерело енергії. Тому профілактика вибухів на таких виробництвах направлена на недопущення появи потужних електричних іскор, відкритого полум'я, перегріву деталей машин тощо. Аналіз показує, що із всіх вибухів в промисловості тільки 10% пов'язано з вибухами пилу, але це, як правило, найбільш тяжкі аварії. Вибухи пилу можуть виникати у фільтрах, циклонах, бункерах, млинах, матеріалопроводах та іншому обладнанні з виробництва органічних і неорганічних продуктів, синтетичних матеріалів, металевих порошоків, кормових дріжджів, хімічних волокон, гербіцидів, харчових продуктів тощо.

Найбільш небезпечним зовнішнім проявом вибуху вибухонебезпечних сумішей у замкнутому об'ємі є швидке підвищення тиску. Максимальний тиск вибуху може перевищувати початковий у 8-10 разів, рідше - в 12.

Боротьба з вибухами в технологічному обладнанні по суті завжди направлена на запобігання його руйнування під дією тиску. Тому найбільш простим і надійним способом захисту є застосування достатньо міцного обладнання, яке здатне витримувати надлишковий тиск вибуху. Але у більшості випадків такий спосіб є непридатним з економічної точки зору.

Іншим, більш поширеним способом захисту обладнання, є викид тиску вибуху через запобіжні пристрої – мембрани або клапани різних конструкцій. Для того, щоб такий вибухозахист був надійним, необхідно дві умови: забезпечення спрацьовування запобіжних пристроїв при заданому тиску та їх достатня пропускну здатність.

### **9.1 Мембранні запобіжні пристрої**

Пристрої для випуску надлишкового тиску, що утворюється під час вибуху, принципово відрізняються від звичайних запобіжних клапанів, які призначені для захисту від підвищеного тиску, що утворюється при порушенні технологічного режиму без виникнення вибуху. В останньому випадку тиск зростає відносно повільно, запобіжний клапан встигає спрацювати і відвести надлишок газів із апарата. Більш докладно матеріал про запобіжні клапани надано у главі 5 посібника.

Під час вибуху тиск зростає дуже швидко, відповідно таким швидким повинно бути відведення газів. Щоб тиск під час вибуху не перевищував величини, на які розраховані стінки апарата, застосовують запобіжні клапани мембранного типу (рис.9.1). Простота конструкції та висока швидкодія запобіжних мембран характеризують їх як найбільш надійні із усіх існуючих засобів вибухозахисту технологічного обладнання.

Мембрани встановлюють на апаратах і трубопроводах з урахуванням найбільш ймовірного напрямку поширення вибухової хвилі. Найбільш характерною ознакою, за якою класифікують мембрани, є характер їх руйнування. У зв'язку з

цим мембрани розділяються за наступним видами: розривні, зрізні; що ламаються; що хлопають, та спеціальні запобіжні мембрани.

Найбільш простим і поширеним типом є **розривні мембрани** (рис. 9.1). Мембранний вузол, як правило, складається із мембрани і пари затискних кілець. Мембрана між кільцями затискається без будь-яких прокладок, тому до якості поверхні кілець пред'являються жорсткі вимоги (правильність геометричної форми та чистота обробки).

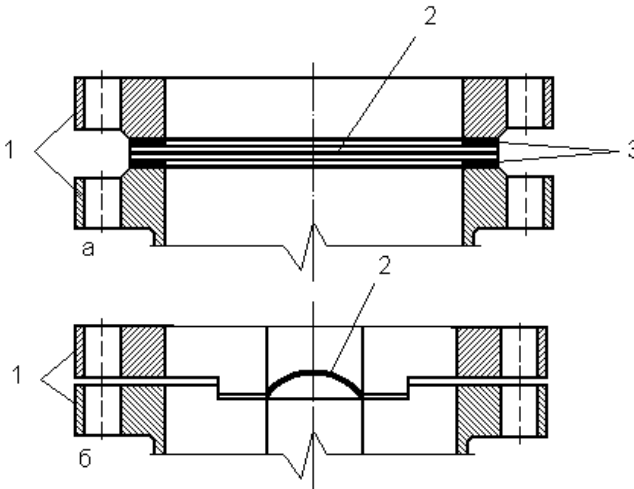


Рисунок 9.1- Розривні запобіжні мембрани

а- плоска мембрана; б- вигнута мембрана; 1- фланці патрубка; 2- розривна мембрана; 3- прокладки

При навантаженні робочим тиском мембрана зазнає значних пластичних деформацій, внаслідок чого одержує форму яскраво вираженого купола, близького до сферичного сегмента. Частіше за все куполоподібну форму мембрані надають заздалегідь. Попередньо вигнуті мембрани, у порівнянні з плоскими, більш чутливі (тобто мають найбільшу точність спрацювання), зручні під час монтажу та експлуатації.

Розривні мембрани виготовляють із тонколистового прокату пластичних металів, таких як алюміній, нікель, латунь,

мідь, титан тощо. Відомі випадки застосування неметалевих мембран із поліетиленової та фторопластової плівок, із паперу, картону, пароніту та азбесту. Виготовлення мембран із таких матеріалів для широкого використання не рекомендується, оскільки ці матеріали мають нестабільні механічні властивості.

Для зниження розривного тиску на мембранах роблять радіальні (рис. 9.2, а) та колові (рис. 9.2, б) риски. Радіальні риски більш прості у виготовленні, але така мембрана часто розривається по одній чи двом рискам під час спрацьовування, і не забезпечує повного розкриття прохідного перерізу. Мембрана з коловою рисою розкривається повністю. Для запобігання відривання риску наносять по незамкненому коловому контуру; з боку, протилежного джерелу тиску, на кінцях риски встановлюють сегментний упор, хорда якого стягує більшу дугу окружності, ніж хорда, яка з'єднує кінці риски (рис. 9.2, б). Мембрани з прорізами (рис. 9.2, в) двошарові, оскільки мають додатково корозійностійку підкладку 2 для герметизації.

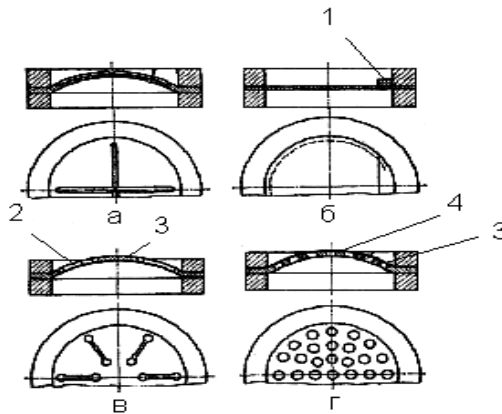


Рисунок 9.2- Різновидності запобіжних мембран

1- упор; 2- герметизуюча підкладка; 3- мембрана; 4- вакуумна опора

Якщо апарат, який захищають, працює під вакуумом і куполоподібна розривна мембрана не витримує вакууму та

мнеться, то для її нормальної роботи необхідно встановлювати вакуумну опору, яка показана на рис. 9.2, г.

Одним з найбільш перспективних засобів захисту апаратів, які періодично працюють під вакуумом, є **мембрани, що хлопають** (рис. 9.3). Основною відмінністю мембран 8, що хлопають від розривних є те, що вони своєю випуклою стороною повернені у сторону підвищеного тиску (усередину апарата, що захищається). При підвищенні тиску сферичний купол втрачає стійкість і дуже різко з ударом вивертається у зворотний бік. При цьому вона ударяється об хрестоподібний ніж і розривається на чотири пелюстки.

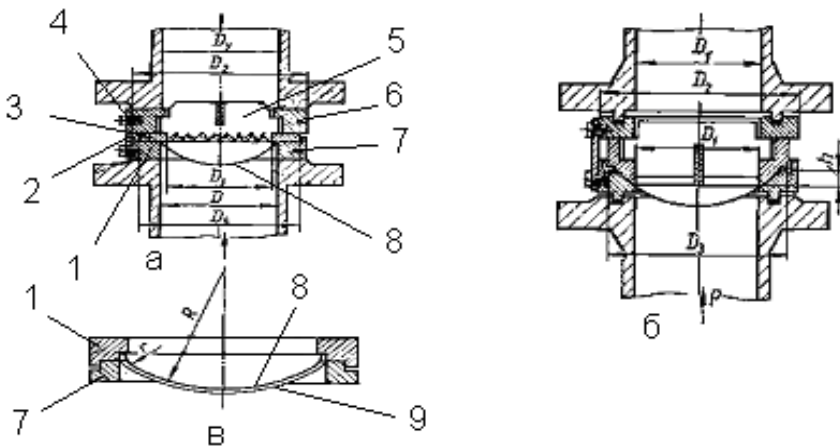


Рисунок 9.3 - Запобіжні мембрани, що хлопають

а- з плоским затискачем і зубчастим ножом; б- з конічним затискачем і плоским ножом; в- з перемінною кривизною;

1, 6, 7 - затискні кільця; 2 - планка; 3 - прокладка; 4 - гвинт; 5 - ніж; 8 - мембрана; 9 - плівка

Перевагою мембран, що хлопають, є великий термін служби у порівнянні з іншими мембранами за умов однакового співвідношення робочого тиску та тиску спрацьовування. Відомо, що ці мембрани витримують 100 тисяч циклів навантаження від 0 до 90% тиску спрацьовування, в той час як такі ж розривні мембрани руйнувались уже після 10 тисяч циклів від 0

до 85% тиску спрацьовування. В середньому строк служби мембран, що хлопають, в 10-15 разів більше, ніж розривних, при роботі в однакових умовах [10].

Ламкі мембрани виготовляють із крихких матеріалів: чавуну, графіту, скла, ебоніту, полівінілхлориду тощо шляхом токарної обробки.

Найбільш поширеними є ламкі мембрани, що виготовлені із чавуну з виточкою (рис. 9.4, а). Кріплення таких мембран здійснюється у фланцях 2 з прокладками 3 без застосування спеціальних проміжних кілець. Ламкі мембрани із крихких матеріалів, таких як скло чи графіт, дуже чутливі до рівномірності затяжки фланцевого з'єднання. При недотриманні цієї умови мембрана може зруйнуватись під час монтажу або отримати настільки великі початкові напруження, що при навантаженні її робочим тиском відбудеться помилкове спрацьовування. Найбільш стабільною у цьому плані є не защемлена мембрана, яка показана на рис. 9.4, б. Мембрана 1 вільно вставлена у виточку кільця 4, а для герметичності вузла використовується м'яка плівка 5.

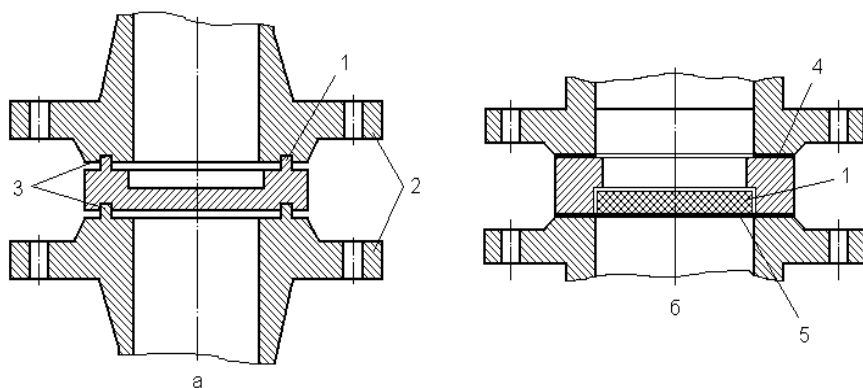


Рисунок 9.4 - Ламкі мембрани  
а - з виточкою; б - стиснута мембрана

Основним недоліком ламких мембран є великий діапазон тиску спрацьовування, тому у багатьох випадках вони не забезпечують надійного захисту обладнання.

На практиці частіше використовують ламкі мембрани із спеціальних графітів, які просочені органічними смолами для забезпечення герметичності. Графітові мембрани стійкі до корозії, перемінних навантажень та мають велику термостійкість (понад 2000<sup>0</sup>С).

Зрізні мембрани при спрацьовуванні зрізуються по гострому краю затискного кільця, повністю звільнюючи прохідний переріз для виходу газів. Мембрана (рис. 9.5, а) виготовляється із м'яких матеріалів і має стовщення по всій робочій частині, щоб максимально знизити деформації вигину і тим самим створити умови роботи матеріалу на чисте зрізання. Мембрана, яка показана на рис. 9.5, б, виготовляється із м'якого листового прокату, а для збільшення жорсткості на вигин у робочій частині має накладні диски.

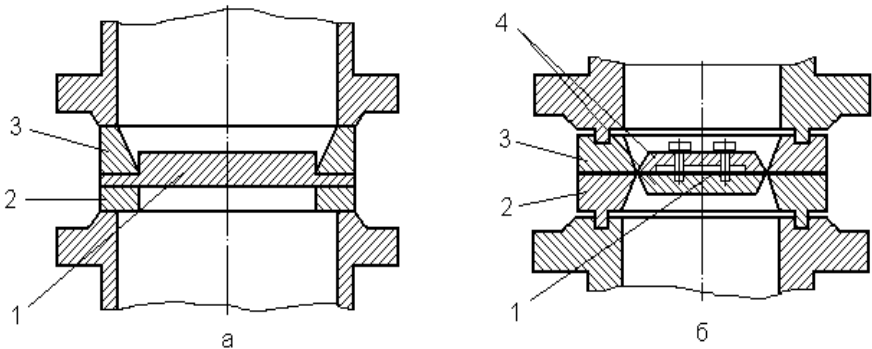


Рисунок 9.5 - Зрізні мембрани:

1- мембрана; 2, 3- зрізні кільця; 4- диски

У промисловості застосовуються інші типи запобіжних пристроїв із використанням мембран. Пошук нових конструктивних рішень звичайно диктується необхідністю підвищити точність спрацьовування пристрою, створити можливість регулювання тиску спрацьовування, збільшити швидкодію, термін

служби, стійкість до високих температур та іншими специфічними вимогами.

На практиці знайшли широке застосування мембрани, які руйнуються примусово від стороннього джерела енергії. Пристрій (рис. 9.6, а) складається з мембрани 4, виготовленої з загартованого скла (сталініту), і ударного механізму 5. Ударний механізм може являти собою електромагнітний пристрій, плунжер з піротехнічним зарядом або інший швидкодіючий механізм. При його спрацьовуванні бойок 6 завдає удару по крайці скла. Загартоване скло має велику швидкість утворення тріщин з появою джерела концентрації напруження і дробиться на безліч дрібних уламків, що дозволяє надійно розкривати увесь викидний отвір мембрани. Для фіксації скла при нанесенні удару бойком із протилежної сторони встановлений загострений упор 9, який також сприяє дробленню скла. Для розвантаження скляної мембрани від можливого вакууму в апараті, що захищається, передбачена опора 3 у виді ґрат. З боку опори встановлені пружини 2, які навіть за відсутності тиску в апараті у випадку спрацьовування мембрани забезпечать розкривання викидного отвору. Плівка 7 з еластичного матеріалу наклеєна на мембрану концентрично і защемлена між мембраною та затискним кільцем 8. При спрацьовуванні мембрани плівка разом з уламками, що на ній наклеєні, відвертається і зменшує винос уламків разом з викидними газами.

Для формування електричного командного імпульсу на спрацьовування даного пристрою можуть застосовуватись високочутливі датчики тиску або датчики, що реагують на світловий спалах в апараті, який супроводжує вибух технологічного середовища і може бути зареєстрованим значно раніше, ніж підвищення тиску.

Конструкція запобіжного пристрою, в якому поріг спрацьовування визначається міцністю спеціального ослабленого елемента (каліброваної струни), показана на рис. 9.6, б. Кришка 10 прижимається до корпусу за допомогою кутових важелів 11, що стягнуті струною 12. Натягування струни можна регулювати



спеціальною гайкою 13. Плече прикладення сили регулюється шляхом переміщення струни уздовж важеля, тим самим змінюється поріг спрацьовування.

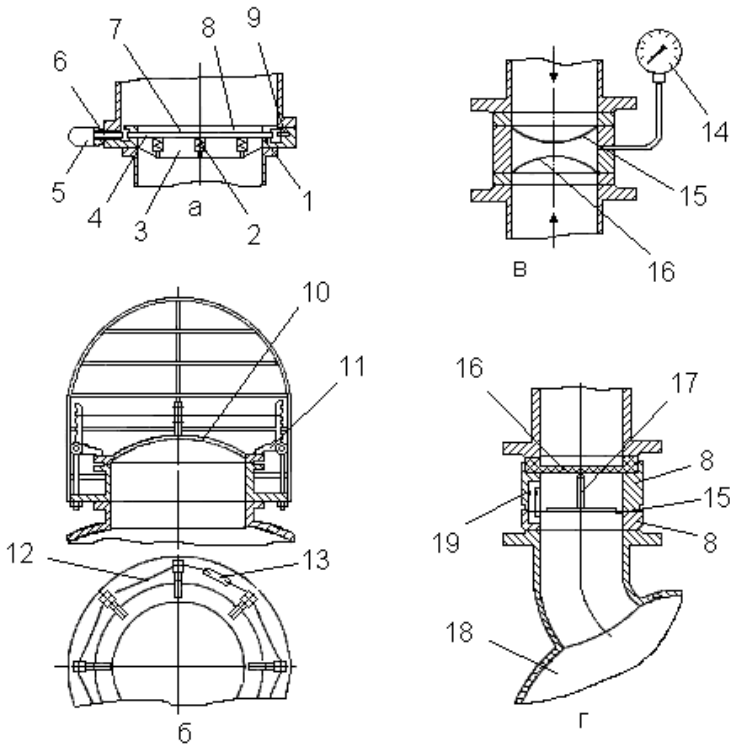


Рисунок 9.6- Різновид мембранних запобіжних пристроїв  
 1- прокладка; 2- пружина; 3- опора; 4- мембрана; 5- ударний механізм; 6- бойок; 7- плівка; 8- кільце для затискання; 9- упор; 10- кришка; 11- кутовий важіль; 12- струна; 13- гайка; 14- манометр; 15- додаткова мембрана; 16- основна мембрана; 17- жорсткий центр; 18- апарат, що захищають; 19- дросель

Конструкція запобіжного пристрою, в якому поріг спрацьовування визначається міцністю спеціального ослабленого елемента (каліброваної струни), показана на рис. 9.6, б. Кришка 10 прижимается до корпусу за допомогою кутових важелів 11, що

стягнуті струною 12. Натягування струни можна регулювати спеціальною гайкою 13. Плече прикладення сили регулюється шляхом переміщення струни уздовж важеля, тим самим змінюється поріг спрацьовування.

Якщо в апараті, що захищається, обертаються сильнодіючі отруйні речовини, то у цьому випадку скидання газів запобіжних пристроїв необхідно здійснювати в спеціальні ємності, в яких інколи може бути деякий надлишковий тиск. І це необхідно враховувати при виборі запобіжних пристроїв. В цьому випадку рекомендують застосовувати пристрій (рис. 9.6, в), що включає дві мембрани: основну мембрану 16, яка сприймає робочий тиск в апараті, що захищається, і додаткову мембрану 15, яка сприймає протитиск. Для нормальної роботи пристрою необхідне виконання умови, коли величина протитиску значно менша за величину робочого тиску; у цьому випадку додаткова мембрана має значно меншу міцність на розривання, ніж основна, і при спрацьовуванні основної мембрани зразу руйнується і додаткова. Для контролю стану мембран є манометр.

На рис. 9.6, г показаний мембранний запобіжний пристрій, тиск спрацьовування якого залежить від швидкості зростання тиску в апараті, що захищається. Пристрій складається із основної мембрани 16, додаткової мембрани 15 із жорстким центром 17 та затискних кілець. Пристрій встановлюється на штуцері апарата 18, що захищається. Між мембранами утворюється площа, яка з'єднується з площиною апарата через дросель 19, що розташований у каналі.

При повільному підвищенні тиску, в площині і в апараті він однаковий. Тому додаткова мембрана повністю розвантажена, і на основну мембрану від неї не передається ніяких додаткових зусиль. При її руйнуванні додаткова мембрана зразу виявляється навантаженою тиском у апараті, а оскільки її міцність менша, то вона також руйнується.

Тип і конструкція мембранного запобіжного пристрою у кожному окремому випадку повинні вибиратися з урахуванням

конкретних умов роботи технологічного обладнання, а також вимог, які пред'являються до його вибухозахисту.

Розрахунок запобіжної мембрани. Розрахунок вибухових мембран виходить з допустимого тиску середовища в апараті та достатньої пропускної здатності запобіжного пристрою. Основними розрахунковими параметрами запобіжних мембран є площа перехідного перерізу скидного отвору апарата та товщина мембрани.

Нижче приводиться методика розрахунку запобіжної мембрани розривного типу для захисту апарата від руйнування під час вибуху горючої суміші.

1. Спираючись на дані технологічного регламенту, визначають склад горючої суміші, що знаходиться в апараті, який необхідно захистити. За відсутності даних вважають, що в апараті утворюється горюча суміш стехіометричного складу.

2. Визначають молекулярну масу компонентів горючої суміші  $M_i$  та молекулярну масу  $M$ . За концентрації горючої речовини у вихідній суміші не менше 5% об'єму можна прийняти  $M=28,96$  кг/моль (молекулярна маса повітря).

3. Знаходять нормальну швидкість поширення полум'я  $U_H$ , м/с (за довідковими даними).

4. Приймають максимально допустимий тиск у апараті, при якому повинна спрацювати (зруйнуватися) мембрана за таблицею 9.1.

5. Далі необхідно визначити максимальну поверхню фронту полум'я  $F_{\Pi}$

- для апарата циліндричної форми:

$$F_{\Pi} = K_{\Phi} \cdot \pi \cdot D^2 \text{ при } D \leq H \quad (9.1)$$

$$F_{\Pi} = K_{\Phi} \cdot \pi \cdot H^2 \text{ при } D > H \quad (9.2)$$

де  $D$  - діаметр апарата, м;

$H$  - висота апарата, м;

- для апарата прямокутної форми:

$$F_{\Pi} = K_{\Phi} \cdot \pi \cdot a \cdot v \text{ при } a \leq v \leq c, \quad (9.3)$$

де а, в, с - розміри сторін апарата, м;

$K_{\Phi}$  - коефіцієнт скривлення фронту полум'я;

$K_{\Phi} = 1.5 - 2$  - для апаратів з вільним простором та спокійним станом середовища;  $K_{\Phi} = 2 - 2,5$  - для інших апаратів або за наявності в них лопаток, ребер та інших аналогічних пристроїв;  $K_{\Phi} = 5 - 10$  - для апаратів із штучною інтенсивною турбулізацією середовища за допомогою вмонтованих вентиляторів або тангенційного уведення газу.

Таблиця 9.1 - Максимально допустимий тиск спрацьовування мембран

Робочий (надлишковий) тиск, МПа	Тиск спрацьовування Р, МПа
$P_p = P_{\text{бар}} (V_v \leq 30\text{м}^3)$	$P = 0,11$
$P_p = P_{\text{бар}} (V_v \geq 30\text{м}^3)$	$P = 0,105$
$P_{\text{бар}} \leq P_p \leq 0,17$	$P = P_p + 0,03$
$P_p \geq 0,17$	$P = 1,25 \cdot P_p$

Де  $V_v$  - вільний об'єм апарата, м<sup>3</sup>;

$P_{\text{бар}} = 0,1\text{МПа}$  - атмосферний тиск.

6. Визначають максимальний тиск вибуху  $P_{\text{max}}$  горючої суміші заданого складу і ступінь підвищення тиску під час вибуху у замкненому об'ємі:

$$\mu = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{бар}}}, \quad (9.4)$$

де  $P_{\text{бар}} = 0,1 \text{ МПа}$ .

7. Визначають максимальні витрати газу  $G$  через скидний отвір під час вибуху середовища в апараті:

$$G = F_{\Pi} \cdot U_{\text{н}} \cdot \frac{\mu - 1}{k} \cdot \left( \frac{P}{P_p} \right)^{\frac{2-k}{k}}, \quad (9.5)$$

де  $k$  - показник адиабати

8. Визначають відносний перепад тиску на скидному отворі та режим виходу газу через нього після руйнування мембрани під час вибуху середовища в апараті:

$$v = \frac{P_0}{P}, \quad (9.6)$$

де  $P_0$  - максимальний тиск у скидному трубопроводі, МПа. При виході продуктів вибуху в атмосферу  $P_0 = P_{\text{бар}}$ ; при виході продуктів вибуху у закриту систему враховують вплив опору трубопроводу за визначеною методикою; при  $v > 0,528$  приймають докритичний режим виходу суміші із апарата через скидний отвір, а при  $v \leq 0,528$  - критичний режим витікання.

9. Розраховують площу скидних отворів  $F_k, \text{ м}^2$ :

-для докритичного режиму виходу

$$F_k \geq \frac{F_{\Pi} \cdot U_{\text{н}} \cdot (\mu - 1)}{\varphi \cdot k \cdot \left( \frac{P}{P_p} \right)^{\frac{3 \cdot (k-1)}{2 \cdot k}} \cdot \sqrt{\frac{2R \cdot (t_p + 273)}{M} \cdot \left( \frac{2}{v^k} - v \frac{k+1}{k} \right)} \cdot \frac{k}{k-1}}; \quad (9.7)$$

-для критичного режиму виходу

$$F_k \geq \frac{F_{II} \cdot U_H \cdot (\mu - 1)}{\varphi \cdot k \cdot \left(\frac{P}{P_p}\right)^{\frac{3 \cdot (k-1)}{2 \cdot k}} \cdot \sqrt{\frac{2R \cdot (t_p + 273)}{M} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}}, \quad (9.8)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт витрати, для отворів круглої форми дорівнює 0,7 – 0,8;

$R = 8314,31 \text{ Дж/кмоль} \cdot \text{К}$  - універсальна газова стала;

$t_p$  - робоча температура середовища в апараті до вибуху, °С.

10. Визначають діаметр скидних отворів,  $d$ , мм:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_k}{\pi \cdot n}}, \quad (9.9)$$

де  $n$  - число однотипних мембранних пристроїв на апараті.

Знайдений діаметр скидного отвору округляють до найбільшого значення умовного проходу  $d_y$  мембранного пристрою.

Стандартний ряд умовних проходів мембранних пристроїв становить: 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500 мм. Коли діаметр скидного отвору більше 500 мм, необхідно встановлювати на апараті два та більше мембранних пристрої.

11. Далі вибирають тип мембрани, за робочою температурою вибирають матеріал мембрани і знаходять його механічні властивості:

- межу стійкості  $\delta_B$ , МПа;

- відносне подовження  $\delta$ ;

- показник повзучості  $\lambda, 1/\text{рік}$ .

12. В залежності від матеріалу мембрани, знаходять температурний коефіцієнт  $K_t$  (довідникові дані).

13. Визначають товщину розривної мембрани

$$\Delta = \frac{P \cdot d_y}{8 \cdot \delta_B \cdot K_t} \cdot \sqrt{\frac{1 + \delta}{\sqrt{1 + \delta} - 1}} \quad (9.10)$$

Знайдену товщину мембрани округляють до найближчого меншого значення товщини металопрокату (фольги), що випускається.

Стандартний ряд товщини металопрокату (фольги)  $\Delta_\phi$ : 0,005-0,012 (шаг 0,001); 0,014-0,02 (шаг 0,002); 0,025-0,1 (шаг 0,005); 0,11-0,25 (шаг 0,01); 0,3-1,0 (шаг 0,05); 1,1-2,0 (шаг 0,1) мм.

14. Визначають строк служби розривної мембрани, кількість років:

$$\tau = \frac{\left(1 - \frac{P_p}{P}\right)^2}{2 \cdot \left(\frac{c}{\Delta_\phi} + \lambda\right)} \cdot \left(1 - 0,85 \cdot \frac{t_p - 20}{t_m - 20}\right), \quad (9.11)$$

де  $c$  - швидкість корозії металу мембрани у робочому середовищі, м/рік;

$t_m$  - гранично допустима температура, °С.

## 9.2 Вибухові клапани

Вибухові клапани, порівняно із запобіжними мембранами, мають одну важливу перевагу: після викиду необхідної кількості газів вони знову закривають апарат, що захищають. Таким чином виключається можливість повторних вибухів через підсмоктування кисню повітря через викидний отвір.

Тому, не дивлячись на велику інерційність, значну складність конструкції, вибухові клапани є ефективними пристроями для зниження вибухонебезпеки технологічного обладнання.

Найбільш широке використання отримали вибухові клапани пружинного типу (рис. 9.7, а). Кільце для ущільнення 5 забезпечує необхідну герметичність контакту кришки 2 з корпусом 6. Кришка 2 не має жорстких направляючих, однак центральне розташування пружин 1 на штоці 4 забезпечує рівномірність притиснення кришки по всьому периметру кільця для ущільнення. Ручка 3 призначена для періодичної контрольної перевірки працездатності клапана.

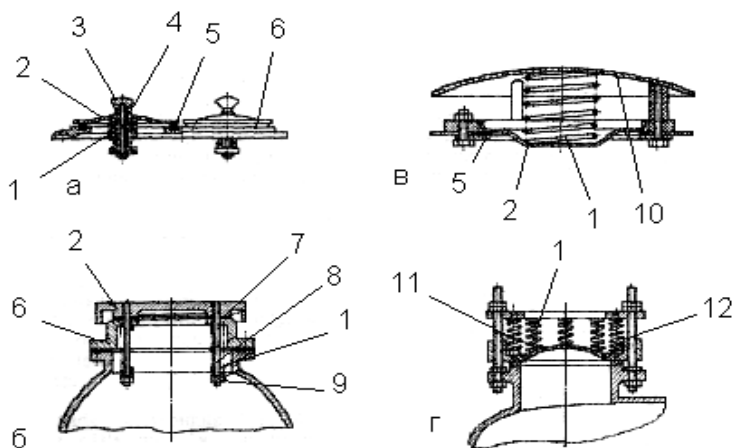


Рисунок 9.7- Конструкції вибухових пружинних клапанів  
 а - з внутрішньою центральною пружиною; б - відлитий клапан з внутрішніми периферійними пружинами; в - клапан фірми МАН; г - клапан із зовнішніми периферійними пружинами

Клапан (рис. 9.7, б) складається із чавунного корпуса 6, чавунної кришки 2, двох шпильок 8 з пружинами 1 і прокладки для ущільнення 7 із параніту. Шпильки вільно проходять через отвори у корпусі, угвинчені в кришку клапана і зверху розклепані в потай. Регулювання натяжки пружин здійснюється гайками 9,



після чого нижні кінці шпильок розклепуються для попередження самостійного розкручення гайок.

Вибуховий клапан німецької фірми МАН (рис. 9.7, в) має просту та легку конструкцію зі штампованою кришкою 2 і відбивачем 10. Клапан спрацьовує при тиску 4 кПа.

Вибуховий клапан, зображений на рис. 9.7, г, відрізняється від вище приведених тим, що має ряд пружин 1, які розташовані назовні по всьому периметру запірного диска 11, а сам диск рухається по штангах 12, що виключає можливість його перекосів під час роботи. Вибухові клапани відкидного типу показані на рис. 9.8.

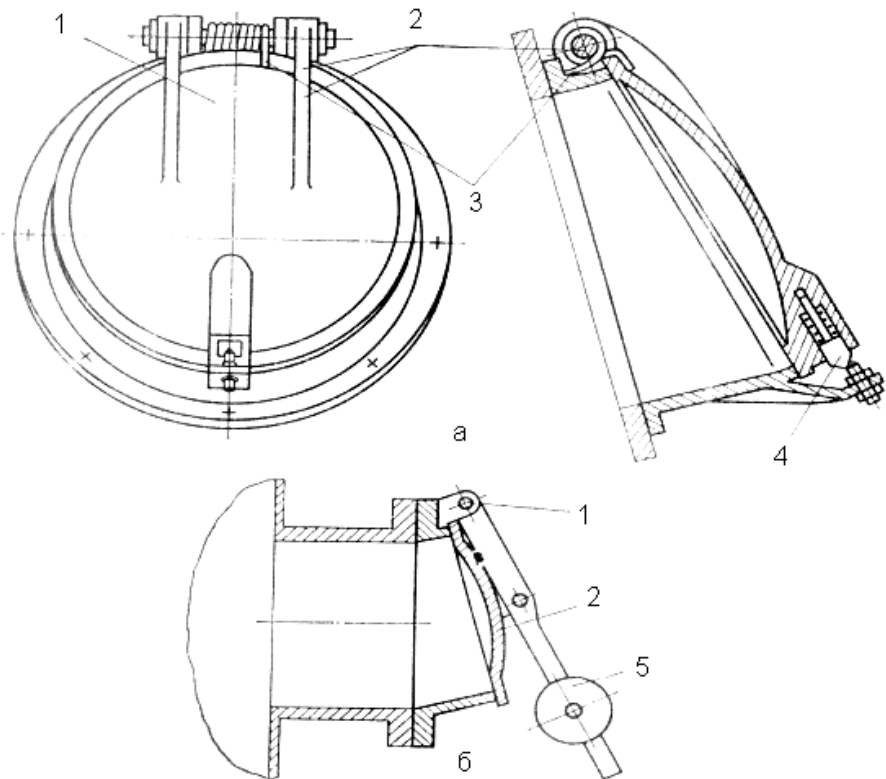


Рисунок 9.8.-Вибухові клапани відкидного типу  
а- пружинний; б- вантажний

Кришка 1 (відкидний люк) встановлена на шарнірі 2 і утримується у закритому положенні пружиною 3 та засувкою 4 (рис.9.8, а) або під дією вантажу 5 (рис. 9.8,б) чи своєї ваги.

### 9.3 Розміщення запобіжних пристроїв та догляд за ними

Запобіжні мембрани та вибухові клапани розміщують переважно у верхній частині апаратів біля місць ймовірних пошкоджень. На трубопроводах розривні мембранні клапани встановлюють на поворотах, тупиках тощо. При розташуванні запобіжних пристроїв, окрім конструктивних особливостей апарата, що захищають, враховують можливість запобігання від механічних пошкоджень в період нормальної експлуатації апаратів, а також від забруднень.

Матеріали мембран підбирають, виходячи з хімічно активного середовища в апараті і характеру навантаження, що діє на мембрану. Пристрої, які встановлені назовні, повинні бути стійкими проти впливу атмосферного середовища.

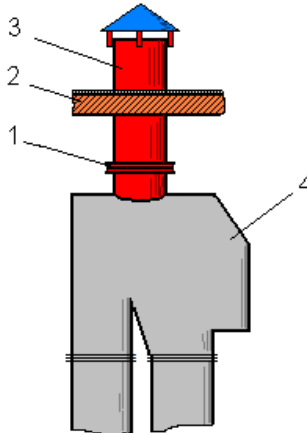


Рисунок 9.9- Відвідна труба від розривного мембранного клапану

1- мембрана, що захищає апарат; 2- покриття виробничої будівлі; 3- вибухорозрядна труба, виведена за межі виробничого приміщення; 4- апарат (норія), що захищається

Клапани на апаратах розміщують таким чином, щоб в момент їх спрацювання продукти горіння відводились у найбільш безпечну зону. За відсутності такої можливості влаштовують вибухорозрядні (відвідні) труби (рис. 9.9) для викиду продуктів горіння за межі виробничого приміщення.

У процесі експлуатації апаратів систематично наглядають за станом запобіжних пристроїв. Мембрани, які спрацювали, необхідно відразу замінювати новими.

Апарат, у якого спрацював запобіжний пристрій, негайно зупиняють. Пуск апарата в експлуатацію проводять лише після з'ясування причин, які викликали спрацювання (руйнування) запобіжної мембрани, і відновлення її захисної дії.

## **9.4 Системи активного придушення вибухів**

Системи активного придушення вибуху призначені для виявлення вибуху у його початковій стадії за допомогою високочутливих датчиків і придушення подальшого процесу розвитку вибуху.

Існують різні за своєю структурою і призначенням автоматичні системи вибухозахисту. В аварійних ситуаціях вони виконують наступні функції:

- 1) придушення вибуху на початку його виникнення шляхом введення в осередок вогнегасної речовини;
- 2) утворення в апаратах інертного середовища;
- 3) викид тиску вибуху через запобіжні отвори;
- 4) блокування апарата за допомогою відсікаючих пристроїв;
- 5) автоматична зупинка обладнання.

При виборі способів активного вибухозахисту необхідно враховувати основні вибухопожежонебезпечні властивості речовин, параметри, які характеризують процес вибуху, склад горючого технологічного середовища та його фізичні параметри (температура, тиск, об'єм обладнання тощо). Виходячи з конкретних умов експлуатації обладнання, вибирають оптимальний варіант системи вибухозахисту.

Сутність процесу придушення вибуху полягає в швидкому гальмуванні хімічної реакції горіння шляхом подачі до осередку пожежі інгібіруючих складів.

Принципова схема автоматичної системи придушення вибуху показана на рис. 9.10.

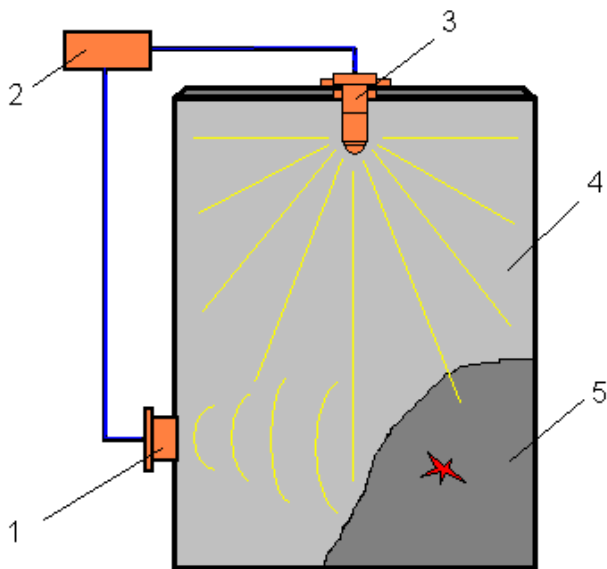


Рисунок 9.10 - Принципова схема активної системи придушення вибуху

Індикатор (датчик) 1, виявивши осередок вибуху 5, через блок управління 2 посилає сигнал (дає команду) на вибухопридушувач 3, який подає в об'єм апарата 4 інгібіруючу суміш, і горіння в апараті припиняється.

У якості індикаторів вибуху використовують фотоелементи (оптичні датчики). Вони більш чутливі, у порівнянні з іншими, наприклад, термопарами, іонізаційними датчиками тощо.

Також знайшли застосування диференційні мембранні контактні реле тиску, які реагують на задану швидкість наростання тиску.

Вибухопридушувачі є виконавчими органами систем активного придушення вибухів. Вони призначені для швидкого і рівномірного розподілення інгібіруючого складу по усьому об'єму апарата, що захищається.

Розрізняють три види вибухопридушувачів:

- оболонки, що руйнуються;
- пневматичні розпилювачі;
- пристрої типу „гідрогармата”.

На рис. 9.11 показана одна з конструкцій вибухопридушувача циліндричної форми. Оболонка 1 заповнена інгібіруючим складом (рідким або порошкоподібним). Пробка 3 призначена для заповнення оболонки. Детонатор 2 має герметичний чохол, а живлення детонатора електричним струмом здійснюється за допомогою коробки 4. Під час вибуху детонатора оболонка повинна руйнуватися повністю, а не розриватися в якомусь одному місці; ця умова є обов'язковою для рівномірного розподілу інгібіруючого складу за об'ємом, що захищається.

У циліндричних оболонках детонатор виготовлений у виді довгого шнура. Швидкість інгібіруючого складу під час польоту, коли спрацьовує вибухопридушувач, становить 60 м/с. Оболонки виготовляються із скла, металу або пластмаси.

Пневматичний розпилювач (рис. 9.12) являє собою швидкодіючий вогнегасник, який приводиться у дію пірозарядом. При спрацьовуванні електродетонатора 4 руйнується мембрана, і рідина із балона 5 під дією тиску стиснутого газу вприскується в порожнину апарата 1, що захищається. Рідина заповнює приблизно 3/4 усього об'єму балона, а інша його частина заповнена інертним газом під тиском більше 2 МПа. У зв'язку з цим балон повинен бути герметичним, щоб під час перебування його в режимі очікування не падав тиск і не витікала рідина. У вихідному патрубкові вибухопридушувача встановлений розбризкувач 2, який закручує струмінь, що витікає. Це сприяє утворенню відносно рівномірного розпилення рідини. Швидкість польоту рідини у середньому становить 60 м/с. Існує декілька типів вибухопридушувачів подібної конструкції з корисною ємністю від 3 до 50 л з різною формою балона.

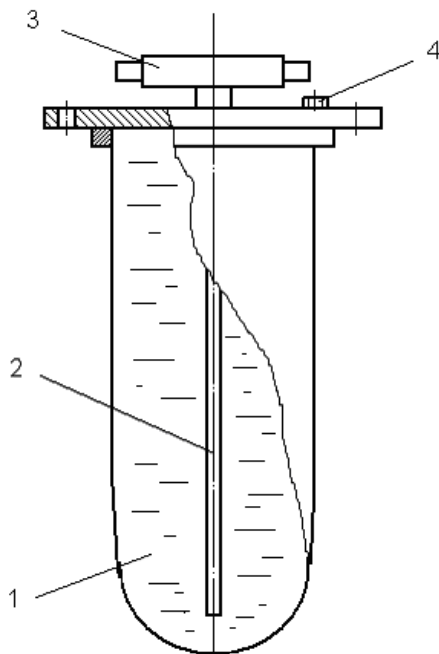


Рисунок 9.11- Вибухопридушувач у вигляді  
циліндричної оболонки, що руйнується

Перевага пневматичних розпилювачів, у порівнянні з оболонками, що руйнуються, полягає у тому, що вони розміщуються поза апаратом і не утворюють ніяких перешкод усередині апарата, а також не підлягають шкідливому впливу технологічного продукту (температурний вплив, корозія тощо).

Конструкція вибухопридушувача типу „Гідрогармата” показана на рис. 9.13. Пристрій складається з корпусу 1, кришки 2 із встановленими в ній піропатронами 3, мембрани, що розділяє 4, у порожнині якої розміщений пірозаряд 5, поршня 6, розпилюючої насадки 8, мембрани 11, кільця 10 і приєднувального фланця 7. Кришка 2 і мембрана 4, що розділяє, утворюють камеру згоряння А. Уся порожнина гідрогармати від мембрани 11 до поршня 6 заповнена рідкою вогнегасною сполукою, а розпилювальна насадка 8 поділяє цю порожнину на дві менші В та С.

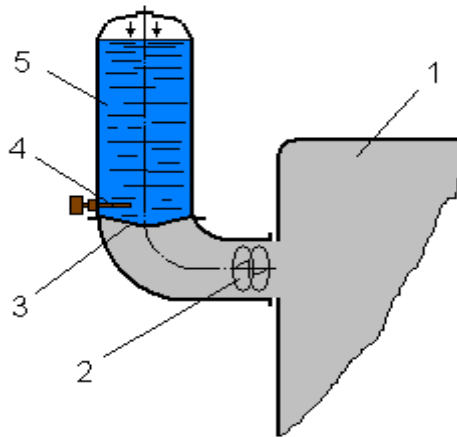


Рисунок 9.12- Пневматичний розпилювач

Пристрій працює наступним чином. При спрацьовуванні піропатронів 3 спалахує пірозаряд 5 (порох), і в камері А різко підвищується тиск, який руйнує мембрану 4 і діє на поршень 6. Рідина знаходиться під тиском, практично рівним тиску в камері А, що приводить до руйнування мембрани 11. Витікання рідини, яке супроводжується переміщенням поршня 6, приводить до швидкого переміщення насадки 8 у крайнє нижнє положення до упора у виступ корпусу. При цьому перфорована частина насадки повністю виходить з корпусу гідрогармати в порожнину апарату 9, і надалі рідина буде витікати з порожнини В у виді безлічі струменів через отвори в насадці.

Пірозаряд гідрогармати відокремлений глухим поршнем 6, і тому продукти його згоряння не попадають до апарату. Прорив газів можливий лише через зазори між поршнем і корпусом, однак при правильному виборі величини цього зазору і довжини кільцевої щілини завжди забезпечується належний вибухозахист гідрогармати. Іншою важливою перевагою гідрогармат, у порівнянні з пневматичними розпилювачами, є те, що вогнегасна сполука в них знаходиться без тиску.

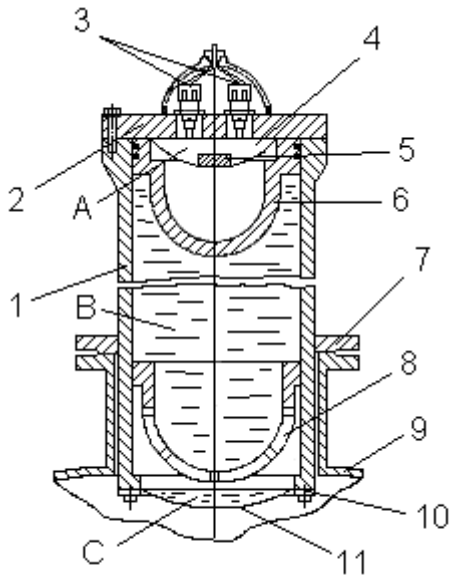


Рисунок 9.13- Вибухопридушувач типу „Гідрогармата”

Таким чином, системи активного придушення вибухів захищають не тільки конкретний апарат від руйнування, але й запобігають можливості розвитку більш значної аварії. Застосування таких систем на вибухопожежонебезпечних підприємствах країни є безумовно правильним вибором у справі підвищення пожежної безпеки об'єктів в цілому.

### Контрольні питання:

1. Назвіть способи захисту апаратів від руйнування під час вибуху?
2. Наведіть класифікацію мембранних пристроїв.
3. Який принцип дії розривних запобіжних мембран?
4. Які конструктивні особливості мембран, що хлопають?
5. Який принцип дії мембран, що ламаються?



6. Яка будова та принцип роботи зрізних мембран?
7. У чому полягає сутність методики розрахунку параметрів запобіжних мембран?
8. Назвіть види вибухових клапанів.
9. Які основні елементи систем активного придушення вибуху?

## ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
2. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: В 2-х кн./А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др.-М.: Химия, 1990. Кн. 1-496 с. Кн. 2 - 384 с.
4. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами.- М.-“Недра” 1984.- 149 с.
5. НАПБ Б.07. 005-86. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. ОНТП 24-86.
6. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли.- М.: «Химия»,-1986.-211с.
7. Сучков В.П. Пожарная безопасность при хранении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на промышленных предприятиях.- М.-Стройиздат.-1985.-95 с.
8. Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств.- М.ВИПТШ МВД СССР - 1986. -370 с.
9. Алексеев М.В. Основы пожарной профилактики в технологических процессах производств.- М.ВИПТШ МВД СССР - 1972.-338 с.
10. Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования.-Киев: «Техника», - 1979.- 189 с.
11. Клубань В.С., Петров А.П., Рябиков В.С. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса М.: Стройиздат.- 1987.- 477 с.
12. Михайлюк О.П., Сирих В.М. Задачник «Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів».- Харків.- ХІПБ МВС України, 1998.- 119 с.
13. Збожна О.М. Основы технології.- Тернопіль.- 2002.- 486 с.

## ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ ВКАЗІВНИК (ПОКАЗЧИК)

### А

- Аварійний злив
- вимоги – 312,316
- класифікація – 313
- методика розрахунку – 317
- улаштування – 314
- Агресивне середовище – 199
- Аерогель – 57, 113
- Аерозавись – 57, 113
- Аналіз пожежної небезпеки
- методика – 25
- Апарати з дихальними пристроями – 84,85, 90
- Апарати з горючими газами – 28, 54
- Апарати з ЛЗР та ГР – 8, 28,
- Апарати з горючим пилом – 7, 57, 62
- Апарати періодичної дії – 99, 101
- Аспірація – 63.64,308

### Б

- Баланс
- матеріальний – 148,149
- тепловий – 148, 159,161

### В

- Вібрація – 174, 175
- Відкритий вогонь – 186
- Вибухозахист обладнання – 385, 388, 389

- Вибухопридушувачі – 390, 392, 394
- Виробництво – 6, 7, 25
- Випаровування рідини
- нерухоме середовище – 75, 76
- рухоме середовище – 80
- Вогнеперешкоджувачі
- гравійний – 329, 341
- з дрібнозернистою насадкою – 341
- касетний – 339, 340
- металокерамічний – 334, 342
- насадочний – 335, 336
- гідравлічний опір – 345
- догляд – 347
- класифікація – 333
- критичний діаметр – 343
- принцип дії – 331
- Вогневі печі – 186
- Вогневі ремонтні роботи – 104
- Вплив
- механічний – 147, 148
- температурний – 186, 188, 193
- хімічний – 199, 200

### Г

- Газова обв'язка – 49, 50
- Гальванічний елемент – 202, 204

Гідрозатвор  
- відкритого типу – 350  
- закритого типу – 351  
- класифікація – 349  
- влаштування – 348, 353, 354  
- експлуатація – 349, 353  
Горюче середовище – 31, 33, 37, 51

## Д

Джерело запалювання – 217  
Диск-відбивач – 98  
Дихальний клапан – 90, 93, 97  
Дихальна арматура – 39, 90, 94  
Дифузія  
- конвекційна – 80  
- молекулярна – 79, 80

## Е

Електроліт – 201, 202, 203  
Електродний потенціал – 202, 204, 210  
Ерозія – 184, 185

## З

Заводські смолоскипи – 220  
Закон  
- Архімеда – 58  
- Гука – 187  
- Н'ютона – 59  
- Фарадея – 175

Запірні пристрої – 125  
Заслінки – 357, 358  
Засувки – 357, 358  
Затвори  
- із твердих подрібнених матеріалів – 355  
- шнекові – 356  
Захист  
- катодний – 213, 214  
- протекторний – 214

## І

Інгібітори  
- анодні – 212  
- катодні – 212  
Інтенсивність випаровування – 74, 75  
Іскрогасник – 245  
Іскроуловлювач – 238, 240

## К

Клапан  
- вантажний – 177  
- відкритого типу – 177  
- вибуховий пружинного типу – 385, 386  
- вибуховий відкидного типу – 387  
- дихальний – 93, 94, 97  
- запобіжний – 175, 176  
- непримерзаючий мембранний – 95, 96  
- перервник – 365, 366  
- пружинний – 178

- прямої дії – 179
- пропускна спроможність – 181
- швидкісний – 359, 366
- Стантона – 252
- Рейнольдса – 81, 320, 346
- Фур'є – 252

### Коефіцієнт

- безпеки – 63
- дифузії – 80
- ефективності пилоприбирання – 141

- лінійного розширення матеріалу – 187, 189

- неповноти конденсації – 168

- пиління – 142

- Пуассона – 194

- стехіометричний – 48

Компенсатори температурні – 189, 192

Конденсація – 12, 166

Константи Антуана – 29

Концентрація

- дійсна – 61, 107

- насиченої пари – 29, 30

- робоча – 29, 75

Корозія

- атмосферна – 205

- газова – 205

- електрохімічна – 201, 204, 205

- хімічна – 200

Корозійне руйнування – 207, 208

Критерій

- Біо – 251

- Нуссельта – 81, 268

- Прандтля – 81, 268

### Л

Легування – 201, 209, 210

### М

Мембрани

- запобіжні – 97, 372, 379

- зрізні – 377

- ламкі – 376

- розривні – 373, 374, 375

- що хлопають – 375

- методика розрахунку – 381

### Н

Навантаження

- динамічні – 172

Напруження

- внутрішні – 186, 188

- температурні – 188, 189

- в трубопроводах – 188

### О

Обвалування апаратів – 326

Окисник – 23, 31

### П

Пароповітряний простір – 31, 41

Плаваюча покрівля – 42, 43

Пил  
- завислий – 59, 61, 116  
- осілий – 59, 61  
Пилоприбирання – 115, 116, 141  
Пилососна установка – 310  
Пилоуловлювач  
- конічний вихровий – 122  
- циліндричний вихровий – 123  
Пожежна безпека об'єкта – 21, 22  
Покриття  
- дифузійні – 209, 210  
- металеві – 210  
Полум'явідсікач  
- автоматичний – 360, 361, 362  
- зрошувач – 363  
Понтон – 43, 44  
Пошкодження  
- локальне – 130, 131, 133  
- причини – 129, 130  
- ступінь – 129  
Продувка апаратів  
- водяною парою – 67  
- негорючими газами – 70, 72  
Процес  
- виробничий – 242  
- технологічний – 6, 16, 23, 74, 82

## Р

Рівняння  
- Антуана – 29

- матеріального балансу – 148, 149  
- теплового балансу – 159, 161  
Розжарені продукти горіння і нагріті ними поверхні – 219

## С

Сальники – 107  
Сировина – 5  
Система  
- запобігання пожежі – 21  
- придушення вибуху – 390, 392  
- протипожежного захисту – 21  
- уловлювання – 83, 92, 102  
- утилізації – 92  
Сталі  
- вуглецеві – 190  
- жаростійкі – 195  
- леговані – 195, 198

## Т

Текучість матеріалу – 195  
Температура  
- робоча – 29, 30  
Температурні межі поширення полум'я (нижня, верхня) – 30  
Теплова енергія – 217  
Теплові прояви  
- механічної енергії – 218, 248  
- електричної енергії – 218

- хімічних реакцій – 218, 284
  - Термоізоляція резервуарів – 91
  - Технологія – 6
  - Технологічний блок – 8
  - Технологічна схема – 18
  - Технологічна система – 8
  - Технологічні апарати - 14
  - класифікація – 11, 12, 15
  - Технологічні процеси
  - безперервні – 11
  - періодичні – 10, 11
  - гетерогенні – 10
  - гомогенні – 10
  - екзотермічні – 10, 11
  - ендотермічні – 10, 12
  - комбіновані – 11
  - механічні – 13, 15
  - хімічні – 10, 15
  - класифікація – 11, 12, 13
  - Технологічний регламент – 17
  - Технологічна схема
  - повна – 18
  - принципова – 18
  - Технологічна частина проекту – 15, 16
  - Тиск
  - атмосферний (барометричний) – 101
  - критичний – 117
  - надлишковий – 181
  - насиченої пари – 29
  - робочий – 29
  - тиску приріст – 164, 166, 170
  - Тривалість дії джерела запалювання – 218
- У**
- Універсальна газова стала – 101
  - Ущільнення
  - лінзове – 109
  - подвійне – 109, 111
  - сальникове – 109, 110
  - торцеве – 109
- Ф**
- Фільтр
  - рукавний – 118, 119
  - тканинний – 119
  - Фланцеві з'єднання – 108
  - Флегматизація – 47, 48
  - Формула
  - Жуковського – 172
- Ц**
- Циклон – 118, 120, 312
- Ш**
- Швидкість
  - поширення полум'я 299, 344
  - поширення ударної хвилі – 149

## ЗМІСТ

Передмова.....	3
Глава 1. Методика вивчення пожежної безпеки технологічних процесів.....	5
1.1 Методика вивчення технології виробництв.....	5
1.1.1 Основні технологічні поняття та визначення.....	5
1.1.2 Класифікація основних технологічних процесів та апаратів.....	9
1.1.3 Методика вивчення технологічних процесів виробництв.....	15
1.2 Основні напрямки дослідження пожежної небезпеки технологічних процесів виробництв.....	21
Глава 2. Оцінка пожежовибухонебезпеки середовища усередині технологічного обладнання .....	27
2.1 Апарати з легкозаймистими та горючими рідинами.....	28
2.1.1 Апарати з нерухомим рівнем рідини.....	31
2.1.2 Апарати з рухомим рівнем рідини.....	36
2.1.3 Пожежна профілактика утворення горючого середовища в апаратах з легкозаймистими та горючими рідинами .....	40
2.2 Апарати з горючими газами .....	50
2.2.1 Умови утворення горючого середовища .....	51
2.2.2 Пожежно-профілактичне попередження виникнення горючого середовища в апаратах з горючими газами .....	54
2.3 Апарати з горючим пилом та волокнами .....	57
2.3.1 Причини та умови утворення горючого середовища.....	60
2.3.2 Запобігання утворенню горючого середовища в технологічному обладнанні з горючим пилом таволокнами... ..	62
2.4 Пожежна безпека апаратів в періоди їх пуску та зупинки .....	66
Глава 3 Пожежна профілактика виходу горючих речовин із нормально працюючого технологічного бладнання .....	74
3.1 Апарати з відкритою поверхнею випаровування.....	74
3.1.1 Пожежна небезпека апаратів з відкритою	



поверхнею випаровування рідини.....	74
3.1.2 Основні напрямки зниження пожежної небезпеки виробництв за наявності апаратів з відкритою поверхнею випаровування.....	82
3.2 Апарати з дихальними пристроями.....	83
3.2.1 Пожежна небезпека апаратів з дихальними пристроями .....	84
3.2.2 Забезпечення пожежної безпеки апаратів з дихальними пристроями .....	90
3.3 Апарати періодичної дії.....	99
3.3.1 Пожежна небезпека апаратів періодичної дії .....	99
3.3.2 Протипожежні заходи при експлуатації апаратів періодичної дії.....	102
3.4 Пожежна безпека апаратів, що працюють під надлишковим тиском.....	103
3.5 Пожежна профілактика при виході горючого пилу у приміщення.....	113
Глава 4. Пожежна безпека при виході горючих речовин з пошкодженого технологічного обладнання.....	127
4.1 Загальна характеристика аварійних ситуацій.....	128
4.2 Локальне пошкодження технологічного обладнання .....	130
4.3 Повне зруйнування апаратів та трубопроводів.....	135
4.4 Утворення вибухонебезпечних сумішей у приміщеннях і на відкритих майданчиках.....	137
4.5 Пожежна небезпека при пошкодженні апаратів з горючим пилом та волокнами.....	140
4.6 Запобігання виникнення пожежі та вибуху при пошкодженнях технологічного обладнання.....	142
Глава 5. Причини пошкодження технологічного обладнання та їх попередження .....	145
5.1 Пошкодження технологічного обладнання в результаті механічних впливів та їх попередження.....	147
5.1.1 Профілактика пошкодження апаратів в результаті підвищення тиску .....	148
5.1.2 Запобігання впливу на матеріал апаратів навантажень динамічного характеру.....	172

5.1.3	Захист апаратів запобіжними клапанами .....	175
5.1.4	Ерозія матеріалу апаратів та трубопроводів.....	184
5.2	Пошкодження технологічного обладнання в результаті температурних впливів та його попередження.....	186
5.2.1	Температурні перенапруження.....	186
5.2.2	Дія високих та низьких температур на матеріал апаратів.....	195
5.3	Профілактика пошкодження технологічного обладнання внаслідок корозії металів та сплавів.....	198
5.3.1	Види корозії та корозійного руйнування.....	200
5.3.2	Способи захисту металів і сплавів від корозії .....	209
Глава 6.	Виробничі джерела запалювання .....	217
6.1	Відкритий вогонь, розжарені продукти горіння та нагріті ними поверхні.....	219
6.1.1	Печі з вогневим обігрівом. Заводські смолоскипи .....	220
6.1.2	Вогневі ремонтні роботи.....	228
6.1.3	Джерела вогню, не викликані потребами технології виробництва.....	231
6.1.4	Високонагріті продукти горіння .....	233
6.1.5	Іскри при роботі топок і двигунів .....	236
6.2	Тепловий прояв механічної енергії.....	248
6.2.1	Іскри, що утворюються при ударах твердих матеріалів.....	249
6.2.2	Іскри, що утворюються при роботі інструментів ударної дії .....	255
6.2.3	Іскри, що утворюються при влученні в машини металу або каміння .....	256
6.2.4	Іскри, що утворюються при ударах рухомих механізмів о нерухомі частини машин .....	261
6.2.5	Нагрівання тіл при терті.....	263
6.2.6	Перегріві підшипників .....	264
6.2.7	Перегріві транспортерних стрічок і приводних ременів .....	272
6.2.8	Загоряння волокнистих матеріалів при намотуванні їх на вали .....	273
6.2.9	Нагрівання газів при стисненні їх у компресорах .....	277

6.3 Теплові прояви хімічних реакцій.....	284
6.3.1 Речовини, які самоспалахують та самозаймаються при контакті з повітрям.....	284
6.3.2 Речовини, що самозаймаються при взаємодії з водою.....	288
6.3.3 Речовини, що спалахують при взаємному контакті одна з одною.....	290
6.3.4 Речовини, здатні до саморозкладання з запалюванням при нагріванні або механічних впливах.....	293
6.4 Тепловий прояв електричної енергії .....	295
ГЛАВА 7. Запобігання поширенню пожежі на виробництві .	299
7.1 Причини та умови поширення пожежі.....	299
7.2 Обмеження кількості горючих речовин та матеріалів на виробництві.....	301
7.2.1 Зменшення кількості горючих речовин на стадії проектування виробництва .....	301
7.2.2 Зменшення кількості горючих речовин в період експлуатації виробництва .....	304
7.3 Евакуація горючих речовин та матеріалів на випадок аварії або пожежі .....	312
7.3.1 Аварійний злив пожежонебезпечних рідин .....	312
7.3.2 Перекачування горючих рідин із небезпечної зони в безпечну.....	322
7.3.3 Аварійний випуск горючих парів і газів .....	323
7.3.4 Захист від розтікання горючих рідин .....	325
7.3.5 Евакуація твердих горючих матеріалів .....	327
ГЛАВА 8. Вогнезатримуючі пристрої на виробничих комунікаціях .....	329
8.1 Вогнеперешкоджувачі .....	329
8.2 Вогнеперешкоджувачі рідинні.....	348
8.3 Затвори із твердих подрібнених матеріалів.....	355
8.4 Швидкодіючі засувки, заслінки та полум'явідсікачі .....	357
ГЛАВА 9. Захист технологічного обладнання від руйнування під час вибуху .....	370
9.1 Мембранні запобіжні пристрої.....	372
9.2 Вибухові клапани.....	385

9.3 Розміщення запобіжних пристроїв та догляд за ними.....	388
9.4 Системи активного придушення вибухів.....	389
Література.....	396
Термінологічний вказівник (показчик).....	397
Зміст .....	402

Навчальне видання

Михайлюк Олександра Петрівна  
Олійник Володимир Вікторович  
Мозговий Геннадій Олексійович

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ  
ПОЖЕЖНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ТА АПАРАТІВ

Навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів

Коректор К.В.Хорошилова  
Комп'ютерна верстка М.А.Ковревська  
Редактор Т.О.Філіна

Підписано до друку 14.07.2004р. Формат 60x84 1/16.  
Папір офсетний 80 г/см<sup>2</sup>. Друк ризограф. Ум.друк. арк. 25,44.  
Тираж 750 прим. Вид.№ 27/03. Зам.№

Розмножувально-копіювальний сектор  
Академії цивільного захисту України  
61023, м. Харків, вул. Чернишевського, 94

