

**Державна служба з надзвичайних ситуацій України**  
**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності**

**Надія ФЕРЕНЦ, Юрій ПАВЛЮК**

# **ПОЖЕЖНА ПРОФІЛАКТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

**Підручник**

Львів 2019

**УДК 81'25**  
**ББК 81.18**  
**Ф 87**

**Ференц, Надія Олександрівна.**

Пожежна профілактика технологічних процесів: підручник / Н. О. Ференц, Ю. Е. Павлюк. – Львів : ЛДУ БЖД, 2019. – 332 с.

**Укладачі:**

**Ференц Н.О.**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри наглядово-профілактичної діяльності та пожежної автоматики Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, полковник служби цивільного захисту

**Павлюк Ю.Е.**, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експлуатації транспортних засобів та пожежно-рятувальної техніки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, полковник служби цивільного захисту

**Рецензенти:**

**Шналь Т.М.**, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка»

**Станіславчук О.В.**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри охорони праці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

Підручник для вивчення теоретичного матеріалу з курсу «Пожежна профілактика технологічних процесів».

Рекомендований до друку рішенням вченої ради  
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності  
(протокол № 4 від “23” листопада 2018 р.).

© Ференц Н.О., 2019  
© Павлюк Ю.Е., 2019  
© ЛДУБЖД, 2019

## ЗМІСТ

<b>Передмова.....</b>	<b>5</b>
<b>Частина I. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів .....</b>	<b>7</b>
<b>Розділ 1. Загальна характеристика виробничих та технологічних процесів.....</b>	<b>8</b>
1.1. Основні технологічні поняття .....	8
1.2. Класифікація технологічних процесів.....	12
1.3. Технологічна частина проекту та технологічний регламент .....	18
1.4. Моделювання технологічних процесів .....	22
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>24</i>
<b>Розділ 2. Показники вибухопожежонебезпеки речовин та матеріалів .</b>	<b>26</b>
2.1. Характеристика газів.....	27
2.2. Характеристика рідин .....	30
2.3. Характеристика твердих речовин .....	33
2.4. Характеристика пилу та волокон.....	34
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>36</i>
<b>Розділ 3. Аналіз умов виникнення горючого середовища та заходи для його запобігання .....</b>	<b>38</b>
3.1. Горюче середовища всередині апаратів.....	38
3.2. Горюче середовища при виході речовин з працюючих апаратів .....	52
3.3. Горюче середовища при пошкодженнях і аваріях технологічних апаратів .....	65
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>73</i>
<b>Розділ 4. Причини пошкоджень технологічних апаратів та заходи протипожежного захисту .....</b>	<b>75</b>
4.1. Механічний вплив на матеріал апаратів .....	76
4.2. Температурний вплив на матеріал апаратів .....	83
4.3. Корозія матеріалу апаратів .....	86
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>90</i>
<b>Розділ 5. Виробничі джерела запалювання .....</b>	<b>91</b>
5.1. Відкритий вогонь, розжарені продукти горіння та нагріті ними поверхні .....	92
5.2. Теплові прояви механічної енергії.....	98
5.3. Теплові прояви електричної енергії .....	105
5.4. Теплові прояви хімічної енергії .....	109
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>112</i>
<b>Розділ 6. Категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою .....</b>	<b>114</b>
6.1. Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою... ..	118
6.2. Категорії будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною та пожежною небезпекою .....	131
6.3. Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою .....	132
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>145</i>

<b>Частина II. Пожежна безпека технологічних процесів виробництв .....</b>	<b>147</b>
<b>Розділ 7. Пожежна безпека процесів зберігання горючих речовин і матеріалів.....</b>	<b>148</b>
7.1. Пожежна безпека процесів зберігання горючих газів .....	148
7.2. Пожежна безпека процесів зберігання легкозаймистих і горючих рідин.....	170
7.3. Пожежна безпека процесів зберігання твердих горючих матеріалів.....	179
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>186</i>
<b>Розділ 8. Пожежна безпека процесів транспортування горючих речовин і матеріалів.....</b>	<b>188</b>
8.1. Пожежна безпека процесів транспортування горючих газів.....	188
8.2. Пожежна безпека процесів транспортування легкозаймистих та горючих рідин .....	192
8.3. Пожежна безпека процесів транспортування сипких горючих матеріалів.....	202
8.4. Пожежна безпека технологічних трубопроводів та арматури.....	209
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>216</i>
<b>Розділ 9. Пожежна безпека механічної обробки та подрібнення твердих горючих речовин та матеріалів.....</b>	<b>218</b>
9.1. Пожежна безпека механічної обробки твердих горючих матеріалів.....	218
9.2. Пожежна безпека процесів подрібнення твердих горючих речовин .....	223
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>232</i>
<b>Розділ 10. Пожежна безпека процесів нагрівання і охолодження горючих речовин.....</b>	<b>233</b>
10.1. Пожежна безпека процесів нагрівання водяною парою.....	234
10.2. Пожежна безпека процесів нагрівання полум'ям і паливними газами	241
10.3. Пожежна безпека процесів нагрівання високотемпературними теплоносіями .....	249
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>254</i>
<b>Розділ 11. Пожежна безпека процесів фарбування .....</b>	<b>256</b>
11.1. Загальна характеристика способів фарбування.....	256
11.2. Протипожежні вимоги до процесів фарбування .....	256
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>265</i>
<b>Розділ 12. Пожежна безпека процесів сушіння .....</b>	<b>273</b>
12.1. Загальна характеристика сушарок .....	274
12.2. Протипожежний захист процесів сушіння .....	281
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>286</i>
<b>Розділ 13. Пожежна безпека процесів сорбції.....</b>	<b>288</b>
13.1. Пожежна безпека процесів абсорбції .....	288
13.2. Пожежна безпека процесів адсорбції .....	295
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>303</i>
<b>Розділ 14. Пожежна безпека процесів ректифікації.....</b>	<b>305</b>
14.1. Загальна характеристика ректифікації .....	305
14.2. Протипожежний захист процесів ректифікації .....	314
<i>Запитання та завдання для самоконтролю .....</i>	<i>320</i>
<b>Терміни та визначення .....</b>	<b>322</b>
<b>Література .....</b>	<b>328</b>

## ПЕРЕДМОВА

Сучасний розвиток суспільства характеризується технічним навантаженням промислових регіонів країни та шкідливим впливом його на довкілля, все більш зростаючими суперечностями між людиною та навколишнім середовищем. У результаті економічного розвитку та прагнення до отримання прибутків без врахування шкідливої дії техногенних небезпек на навколишнє середовище, рівень антропогенного впливу на біосферу наблизився до критичного і загрожує незворотними наслідками для світової цивілізації в цілому. Держава не може економічно і соціально розвиватися без гарантії безпеки життєдіяльності своїх громадян, у тому числі і пожежної безпеки.

Мета курсу «Пожежна профілактика технологічних процесів» – дати знання, які необхідні для розробки систем запобігання пожежам, протипожежного захисту, організаційно-технічних заходів, спрямованих на пожежну безпеку технологічних процесів сучасних виробництв.

Завдання курсу: ознайомити з будовою та особливостями експлуатації технологічного обладнання, що використовується для обробки, переробки і зберігання вибухопожежонебезпечних речовин і матеріалів; вивчити методи аналізу пожежної небезпеки технологічних процесів, принципів і способів їх убезпечення; навчити застосовувати і обґрунтовувати розрахунками технічні заходи для забезпечення пожежної безпеки технологічного обладнання і виробничих процесів загалом.

Пожежна профілактика технологічних процесів як навчальна дисципліна склалася і розвивається на стику наук про технологію і пожежу. Тому пожежна небезпека як технологічних процесів, так і технологічного обладнання (апаратів, машин, агрегатів, транспортних комунікацій) досліджується з використанням математичного апарату і фундаментальних законів фізики, хімії, термодинаміки, механіки та інших наукових дисциплін.

З іншого боку, будучи прикладною спеціальною дисципліною, пожежна профілактика технологічних процесів узагальнює і використовує практичний досвід і методи роботи протипожежної служби при здійсненні нагляду за проектуванням технологічних процесів і промислових підприємств, їх будівництвом і реконструкцією, за забезпеченням пожежної безпеки на діючих промислових, складських і сільськогосподарських об'єктах країни, а також досвід впровадження на них нових способів, установок і пристроїв забезпечення пожежної безпеки.

Промислові процеси переробки природних матеріалів на засоби виробництва і предмети вжитку називаються виробничими або технологічними процесами. Вивчення технологічних процесів і розробка найефективніших способів їх проведення є предметом технології.

Наука про технологію як самостійна галузь прикладних знань виникла наприкінці XVIII століття у зв'язку з розвитком великої машинної промисловості. На даний час в Україні функціонує близько двох тисяч хімічно небезпечних об'єктів, які в своїй діяльності виготовляють або використовують небезпечні хімічні речовини чи здійснюють їх зберігання, транспортування;

понад 1200 вибухопожежонебезпечних об'єктів, на яких зосереджено понад 13,6 млн. тонн твердих і рідких небезпечних речовин. Довжина магістральних газопроводів, прокладених територією України, становить понад 35 тис. км, магістральних нафтопроводів – близько 4 тис. км, їх роботу забезпечує 31 компресорна нафтоперекачувальна і 89 компресорних газоперекачувальних станцій. Довжина продуктопроводів становить 3,3 тис. км.

Виникнення і розвиток промислового виробництва має, на жаль, свої негативні сторони, зокрема воно призвело до збільшення числа пожеж і шкоди від них. Як свідчить статистика, в Україні щорічно збільшується кількість надзвичайних ситуацій техногенного характеру, внаслідок яких отримують ураження та гинуть тисячі людей, населення і держава зазнають великих збитків.

На початку ХХІ століття зношеність виробничих фондів в Україні становила в середньому 50 відсотків, а за умов старих технологій і браку коштів на підтримання техногенної безпеки дуже повільно здійснюється оновлення або заміна застарілих основних виробничих фондів, рівень техногенно-екологічної безпеки щорічно значно знижується. Потенційно небезпечні об'єкти господарювання рік у рік стають все вразливішими до дії небезпечних природних факторів, що збільшує небезпеку виникнення на них вторинних техногенних аварій і навіть катастроф, за масштабами яких можуть виникнути надзвичайні ситуації з дуже важкими наслідками.

Метод аналізу пожежної безпеки використовують фахівці з пожежної безпеки, що займаються нормативно-технічною і інспекторською діяльністю, а також експерти при проведенні досліджень причин аварій і пожеж на промислових, сільськогосподарських підприємствах та об'єктах складського призначення.

Таким чином, перед сучасною технологічною наукою і практикою стоїть важливе завдання – безпека виробництва – технічна безпека, пожежна безпека і охорона довкілля. Велика роль в цьому відводиться пожежній профілактиці технологічних процесів.

**ЧАСТИНА І.**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ  
ПОЖЕЖНОЇ ПРОФІЛАКТИКИ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

# РОЗДІЛ I

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 1.1. Основні технологічні поняття

Основу виробничо-господарської діяльності підприємства становить виробничий процес, який є сукупністю взаємопов'язаних процесів праці і природних процесів, спрямованих на випуск певних видів продукції. Організація виробничого процесу полягає в об'єднанні людей, знарядь і предметів праці в єдиний процес виробництва матеріальних благ, а також у забезпеченні раціонального поєднання в просторі та в часі основних, допоміжних і обслуговуючих процесів.

Технологія (*походить з грецьк. *techne* – майстерність, ремесло, *logos* – наука, вчення*) – наука, яка вивчає технічно досконалі та економічно доцільні способи і процеси переробки продуктів природи (сировини) в предмети вжитку та засоби виробництва. Термін «технологія» застосовують також для позначення документів, у яких описується технологічний процес або сукупність інструкцій, регламент, креслення тощо.

Виробничим процесом називають сукупність дій, пов'язаних з прогнозуванням, науково-технічною і конструкторською розробкою, проектуванням, транспортуванням і зберіганням сировини, виготовленням напівпродуктів та готової продукції, її випробуванням, пакуванням, обліком та зберіганням, ремонтом обладнання тощо.

Спосіб переробки – сукупність всіх операцій, які проходить сировина до отримання з неї продукту. В технології спосіб переробки називають способом виробництва даної продукції.

Спосіб виробництва – послідовність опису операцій, які відбуваються у відповідних машинах та апаратах. Такий опис називають технологічною схемою.

Виробництво характеризується такими категоріями як тип та вид. Тип виробництва – класифікаційна ознака виробництва за широтою номенклатури, регулярності, стабільності і обсягу випуску виробів. Розрізняють такі типи виробництва – масовий, великосерійний, серійний, дрібносерійний та одиничний. Вид виробництва – класифікаційна ознака виробництва за методом виготовлення, що використовується, і наявності технологічної підготовки виробництва.

За цільовим призначенням виділяють процеси основні, допоміжні і обслуговуючі.

Основні виробничі процеси – процеси перетворення сировини і матеріалів в готову продукцію, що є основною, профільною продукцією для даного підприємства. Ці процеси визначаються технологією виготовлення даного виду продукції (підготовка сировини, хімічний синтез, змішування сировини, фасування і пакування продукції тощо).



Допоміжні виробничі процеси спрямовані на виготовлення продукції або виконання послуг для забезпечення нормального протікання основних виробничих процесів. Такі виробничі процеси мають власні предмети праці, відмінні від предметів праці основних виробничих процесів. Як правило, здійснюються вони паралельно з основними виробничими процесами (ремонтне, тарне, інструментальне господарство, виробництво і подача стисненого повітря, теплової та електричної енергії тощо).

Обслуговуючі виробничі процеси забезпечують створення нормальних умов для протікання основних і допоміжних виробничих процесів. Вони не мають власного предмета праці і відбуваються, як правило, послідовно з основними і допоміжними процесами (транспортування сировини і готової продукції, їх зберігання, контроль якості).

Основні виробничі процеси проводяться в основних цехах (ділянках) підприємства і утворюють його основне виробництво. Допоміжні і обслуговуючі виробничі процеси – відповідно в допоміжних і обслуговуючих цехах – утворюють допоміжне господарство. Різна роль виробничих процесів в сукупному виробничому процесі визначає відмінності в механізмах управління різними видами виробничих підрозділів. Об'єднання основних, допоміжних, обслуговуючих і інших процесів в певній послідовності утворює структуру виробничого процесу.

Виробничі процеси на підприємствах деталізують за змістом (процес, стадія, операція, елемент) і місцем здійснення (підприємство, переділ, цех, відділення, ділянка, агрегат).

Як первинний елемент виробничого процесу слід розглядати технологічну операцію – закінчену частину технологічного процесу, яку виконують на одному місці праці один або кілька працівників над одним або кількома об'єктами, які одночасно обробляються. Операції поділяються на основні (технологічні) та допоміжні. Відособлені в технологічному відношенні часткові процеси є стадіями виробничого процесу. Стадія – частина технологічного процесу, яка включає виготовлення напівфабрикатів чи готової продукції.

За характером праці, що використовується, виробничі процеси класифікуються на автоматизовані, механізовані і ручні. Виробничий цикл – це період часу між моментами початку і закінчення виробничого процесу стосовно конкретної продукції в рамках логістичної системи підприємства.

Виробничий цикл складається з робочого часу і часу перерв при виготовленні продукції. У свою чергу, робочий період складається з основного технологічного часу, часу виконання транспортних і контрольних операцій і часу комплектації. Час перерв поділяється на час міжопераційних, міждільничних і інших перерв.

Тривалість виробничого циклу багато в чому залежить від характеристики руху матеріального потоку, який буває послідовним, паралельним, паралельно-послідовним. На тривалість виробничого циклу також впливають форми технологічної спеціалізації виробничих підрозділів, система організації самих виробничих процесів, прогресивність вживаної технології і рівень уніфікації продукції, що випускається.

Виробничий цикл включає також час очікування – це інтервал з моменту надходження замовлення до моменту початку його виконання, для мінімізації якого важливо спочатку визначити оптимальну партію виробів – партія, за якої витрати з розрахунку на один виріб є мінімальними.

Для вирішення задачі вибору оптимальної партії прийнято вважати, що собівартість продукції складається з прямих витрат на виготовлення, витрат на зберігання запасів і витрат на переналагодження устаткування і його простої при зміні партії. На практиці часто оптимальна партія визначається прямим розрахунком, але при формуванні логістичних систем ефективнішим є застосування методів математичного програмування.

У виробничій діяльності важливе значення має система норм і нормативів. У неї включаються як укрупнені, так і детальні норми витрати матеріалів, енергії, використання устаткування тощо.

Норми витрати матеріальних ресурсів – це максимально допустима кількість сировини, матеріалів, палива, що витрачається на виготовлення одиниці продукції певної якості і виконання технологічних операцій. Норми витрати в загальному вигляді виражаються як сума чистої маси виготовленої продукції або маси матеріалу, що входить в її склад, і величини відходів виробництва, а також інших витрат. На практиці норми витрати класифікуються за різними ознаками, наприклад за ступенем деталізації (зведені і специфіковані), за об'єктом нормування (поопераційні, подетальні, повиробні, повузлові) тощо.

На підставі норм витрати і виробничої програми прогнозуються потреби виробництва і розробляються всі аспекти щодо формування і управління матеріальними потоками. Найважливішими нормативними показниками є питома витрата сировини і матеріалів, коефіцієнт використання матеріалів, витратний коефіцієнт та корисна витрата сировини і матеріалів.

Нормативна корисна витрата матеріалу – це маса (об'єм) матеріальних ресурсів, які створюють готову продукцію. Коефіцієнтом використання матеріалу називають відношення корисної витрати матеріалу до норми витрати. Цей критерій є одним з показників ефективності матеріальних ресурсів, оскільки чим більший коефіцієнт, тим повніше використовується той або інший матеріал і менше відповідно відходів виробництва. Витратний коефіцієнт – показник, обернений до коефіцієнта використання матеріалів. Важливу роль виконує також показник питомої витрати, яка є кількістю фактично витраченого матеріалу на одиницю продукції (робіт). Визначається розподілом кількості витраченого матеріалу на об'єм виробленої з нього продукції. На практиці трапляються навіть такі норми, як норми часу оформлення документів, норми часу ухвалення рішень тощо. Від якості норм, від їх обґрунтованості і точності залежить економічний стан підприємства.

Принципи організації виробничого процесу є початковими положеннями, на основі яких здійснюються побудова, функціонування і розвиток виробничого процесу. Існують такі принципи організації виробничого процесу:

- диференціація – розділення виробничого процесу на окремі частини (процеси, операції, стадії) та їх закріплення за відповідними підрозділами підприємства;
- комбінування – об'єднання всіх або частини різнохарактерних процесів для виготовлення певних видів продукції в межах однієї ділянки, цеху або виробництва;
- концентрація – зосередження певних виробничих операцій для виготовлення технологічно однорідної продукції або виконання функціонально-однорідних робіт на окремих робочих місцях, ділянках, в цехах або виробництвах підприємства;
- спеціалізація – закріплення за кожним робочим місцем і кожним підрозділом строго обмеженої номенклатури робіт, операцій, деталей і виробів;
- універсалізація – виготовлення деталей і виробів широкого асортименту або виконання різнорідних виробничих операцій на кожному робочому місці або виробничому підрозділі;
- пропорційність – поєднання окремих елементів виробничого процесу, яке виражається в їх певному кількісному співвідношенні один з одним;
- паралель – одночасна обробка різних деталей однієї партії за певною операцією на декількох робочих місцях;
- прямоточність – здійснення всіх стадій і операцій виробничого процесу в умовах найкоротшого шляху проходження предмета праці від початку до кінця;
- ритмічність – повторення через встановлені періоди часу всіх окремих виробничих процесів і єдиного процесу виробництва певного виду продукції.

Приведені принципи організації виробництва на практиці діють не ізольовано один від одного, вони тісно переплітаються в кожному виробничому процесі. Принципи організації виробництва розвиваються нерівномірно – в той або інший період той або інший принцип висувається на перший план або набуває другорядного значення.

Технологічний процес – це сукупність спільних дій людей та засобів виробництва, в результаті яких здійснюється перетворення початкових матеріалів в продукцію конкретного призначення. Тобто термін «технологічний процес» є складовою більш узагальненого поняття – «виробничий процес», що включає служби матеріального й енергетичного забезпечення, транспортні засоби, складські приміщення, ремонтні служби і техніко-економічне управління виробництвом.

Отже, технологічний процес знаходиться у центрі виробничого процесу, а рівень його досконалості та економічної ефективності формується під впливом об'єктивних факторів: соціального устрою суспільства, його економіки, наявності відповідних сировинних ресурсів, наукового рівня і практичного досвіду керівників та виконавців виробництва.

Технологічний баланс – результати розрахунків, наведені у вигляді рівнянь, таблиць або діаграм, які відображають кількість введених і отриманих у виробничому процесі матеріалів та енергії (її надходження і витрати).

В основі матеріальних та енергетичних балансів лежать закони

збереження матерії та енергії. У кожному матеріальному балансі кількість введених у виробничий процес матеріалів повинна дорівнювати кількості отриманих основних та проміжних продуктів і відходів виробництва. Маса речовин у матеріальних балансах приводиться окремо для твердої, рідкої і газоподібної фази за рівнянням:

$$M_m + M_p + M_z = M'_m + M'_p + M'_z,$$

де  $M_m, M_p, M_z$  – маси твердих, рідких і газоподібних матеріалів, які були до технологічного процесу;  $M'_m, M'_p, M'_z$  – маси твердих, рідких і газоподібних продуктів, які отримали в результаті технологічного процесу.

Аналогічно повинні бути однаковими кількість введеної теплової та електричної енергії і кількість виведеної з продуктами і відходами енергії:

$$Q_\phi + Q_{ек} + Q_z = Q'_\phi + Q'_n,$$

де  $Q_\phi$  – фізична теплота, яку ввели з вихідними речовинами;  $Q_{ек}$  – теплота екзотермічних реакцій і фізичних переходів з одного агрегатного стану в інший;  $Q_z$  – теплота, що підводиться зовні;  $Q'_\phi$  – фізична теплота, яку виведено з процесу разом з продуктами реакції;  $Q'_n$  – втрати теплоти у навколишнє середовище.

Основною характеристикою роботи машин, апаратів, цехів і заводів є продуктивність. Продуктивністю називається кількість виробленої продукції чи переробленої сировини за одиницю часу. Збільшення продуктивності роботи апарата досягається збільшенням його розмірів чи збільшенням інтенсивності роботи. Як правило, комбінуються обидва способи збільшення продуктивності. Збільшення об'єму апарата призводить до економії металу чи іншого конструктивного матеріалу в розрахунку на одиницю реакційного об'єму і на одиницю продукції, що виробляється.

Інтенсивністю роботи апарата називається його продуктивність відносно будь-якої величини, яка характеризує його розміри. Як правило, для розрахунку інтенсивність прирівнюють до об'єму апарата або площі його перерізу. Інтенсивність досягається покращенням конструкцій машин та апаратів та вдосконаленням технологічних процесів в апаратах цього виду.

## 1.2. Класифікація технологічних процесів

В основу класифікації технологічних процесів покладено різні ознаки, такі як: вид впливу на сировину і характер її якісних змін, спосіб організації процесу, кратність обробки сировини, зміна параметрів технологічного процесу в часі, спосіб створення рушійної сили процесу, тепловий ефект, агрегатний стан складових сировини тощо.

За характером якісних змін сировини технологічні процеси підрозділяються на фізичні, механічні, біологічні, хімічні, фізико-хімічні.

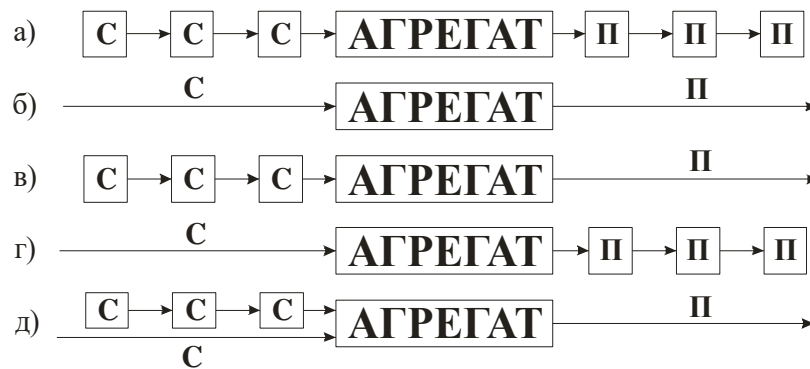
При фізичних і механічних процесах переробки сировини відбуваються зміни розмірів, форми та фізичних властивостей сировини. При цьому

внутрішня будова і склад речовини не змінюється. Наприклад, виготовлення металевих деталей методом різання, подрібнення матеріалу, приготування розчинів тощо. Хімічні процеси характеризуються зміною не тільки фізичних властивостей, але і хімічного складу.

Однак розподіл процесів на фізичні, механічні і хімічні є умовним, тому що важко провести чітку межу між ними, оскільки, механічні процеси часто супроводжуються зміною і фізичних і хімічних властивостей. Хімічні процеси, як правило, супроводжуються механічними.

За способом організації процесу технологічні процеси поділяють на періодичні (дискретні), безперервні та комбіновані.

Періодичним (дискретним) називають процес, в якому визначена порція сировини (С) завантажується в агрегат, проходить в ньому ряд стадій обробки, а потім розвантажуються всі утворені продукти (П) (рис. 1.1а).



**Рисунок 1.1.** – Схеми процесів:

а – періодичних; б – безперервних; в-д – комбінованих

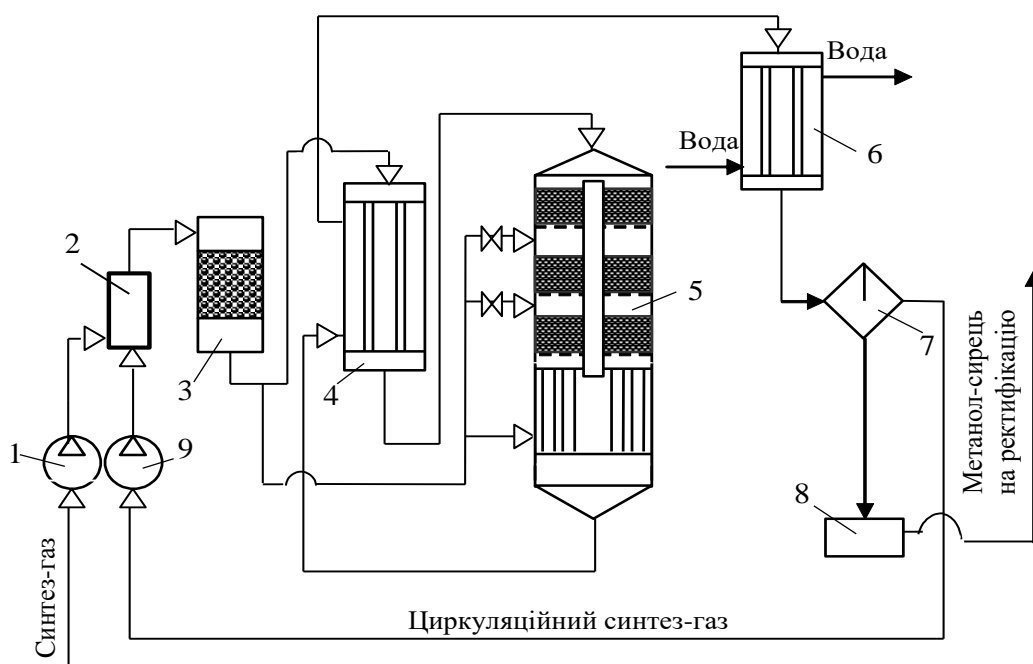
Періодичним процесам властива зупинка агрегатів для завантаження сировиною та вивантаження отриманої продукції. Тобто, від завантаження сировини до вивантаження продукту проходить певний період часу. Механізація завантаження і розвантаження утруднена, оскільки виникає потреба у періодично діючих механізмах більшої потужності аніж для неперервних процесів. Ще важче автоматизувати періодичні процеси, тому що показники режиму, для яких проводиться автоматизація – температура, тиск, концентрація речовини – змінюються протягом процесу. Періодичні процеси є складними для обслуговування. Час циклу, тобто тривалість періодичного виробничого процесу, є завжди більшою ніж безперервного; енергетичні затрати є завжди більшими. Випалювання цегли, виплавляння сталі, виробництво коксу в коксових батареях, виготовлення відливків в формах, варіння целюлози в котлах періодичної дії – це періодичні процеси.

Експлуатація навіть герметично закритих апаратів періодичної дії пов'язана з необхідністю відкривання люків, кришок, завантажувальних і розвантажувальних пристроїв і виходом при цьому назовні горючих речовин. Тому, періодичні процеси з точки зору пожежної безпеки є більш небезпечними.

Вказані причини і зумовлюють тенденцію до заміни періодичних процесів безперервними.

Безперервними називають процеси (рис. 1.1б), в яких надходження сировини в апарат (С) і випуск продукції (П) відбувається безперервно (або систематичними порціями) протягом тривалого часу. Їх проводять у проточних апаратах. При цьому технологічні процеси протікають одночасно з допоміжними і транспортними операціями. Простою обладнання немає, продуктивність апаратів більша. В кожній точці апарата є постійними температура, концентрація речовин, тиск тощо, тобто легко вести спостереження за роботою апаратів, механізувати завантаження сировини і вивантаження продукту, автоматизувати процес. При безперервному процесі, як правило, покращується якість продукції, полегшується процес використання тепла реакції і відходів виробництва, оскільки, вони вилучаються рівномірно. Однак, на даний час не можна замінити всі періодичні процеси у неперервні; в одних випадках це призводить до погіршення якості продукції (наприклад, при коксуванні), в інших – ще не винайдено способи раціональної механізації і автоматизації процесів, особливо на малопотужних і малогабаритних установках.

Прикладами безперервного процесу є перегонка нафти, виробництво цементу, виплавляння чавуну, процес варіння целюлози в трубчастих варильних апаратах, синтез метанолу (рис.1.2).



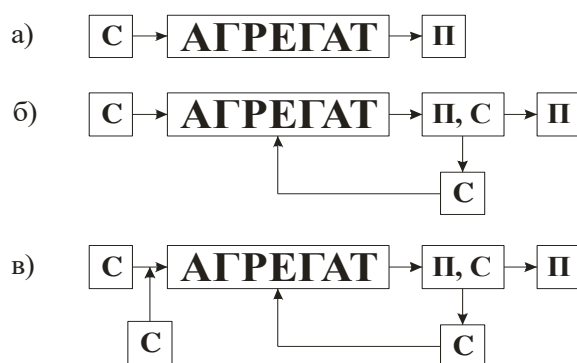
**Рисунок 1.2** – Технологічна схема синтезу метанолу:

- 1 – компресор, 2 – змішувач; 3 – фільтр-адсорбер; 4 – теплообмінник; 5 – ректифікаційна колона; 6 – холодильник-конденсатор; 7 – сепаратор; 8 – резервуар; 9 – циркуляційний компресор

Безперервні процеси при запуску і зупинці є більш пожежонебезпечними ніж у встановлений режим роботи.

Комбіновані – такі процеси (рис. 1.1в-д), у яких окремі стадії неперервних процесів здійснюють періодично або окремі стадії періодичних процесів проводять неперервно. У комбінованих процесах можна періодично подавати сировину (С) до агрегату і безперервно виводити з нього продукцію (П) (рис. 1.1в) або навпаки, безперервно подавати до агрегату сировину (С), а періодично виводити отриману продукцію (П) (рис. 1.1г). Можливий і такий варіант: періодичне подавання до агрегату однієї складової сировини (С1), і безперервне іншої (С2). Отримана продукція (П) при такій схемі виходить з агрегату безперервно (рис. 1.1д). Приклади комбінованих процесів – коксування вугілля, потокові лінії механічної обробки.

За кратністю обробки сировини технологічні процеси поділяють на відкриті, замкнені та комбіновані (рис. 1.3).



**Рисунок 1.3** – Схеми технологічних процесів:  
а – відкритий; б – замкнений; в – комбінований

Якщо технологічний процес відкритий, то сировина перетворюється на готову продукцію протягом одного циклу перебування її в агрегаті (рис. 1.3а).

Якщо сировина, або окремі її складові неодноразово повертаються в агрегат для повторної обробки чи після регенерації (відновлення втрачених властивостей), то це замкнений технологічний процес (рис. 1.3б). Прикладом замкненого процесу може бути виробництво поліетилену високого тиску, під час якого лише 20% етилену перетворюється у поліетилен, решта після очищення повертається до агрегату. Порівняно з відкритими, замкнені процеси компактніші. На них менше затрачається електричної енергії, сировини. Отримана продукція якісніша. Замкнені процеси є основою створення безвідходних, енерго- та сировиноощадних технологій.

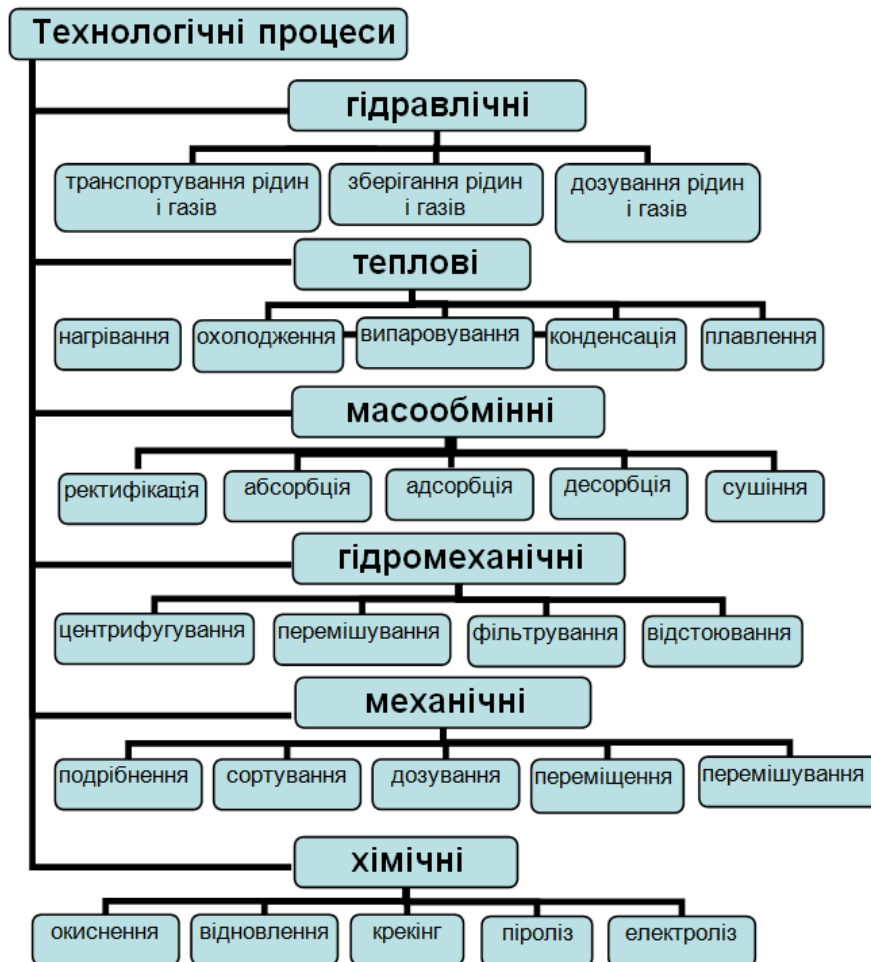
У комбінованих процесах (рис. 1.3в) основна сировина (С1) може перетворюватись на продукцію (П) за один цикл перебування в агрегаті, а допоміжна сировина використовується багаторазово.

За зміною параметрів процесу в часі технологічні процеси поділяють на:

- стаціонарні, в яких значення параметрів (температура, швидкість, концентрація тощо) постійні в часі;

- нестационарні, в яких значення параметрів (температура, швидкість, концентрація тощо) змінні в часі. Періодичні процеси належать до нестационарних і тому їх складно автоматизувати. З точки зору пожежної безпеки більш небезпечними є нестационарні процеси.

За способом створення рушійної сили процесу технологічні процеси поділяють на фізичні (гідравлічні, теплові, масообмінні, гідродинамічні, механічні) та хімічні. Більшість процесів (чи окремі їх частини) є однотипними. Класифікацію основних технологічних процесів наведено на рис. 1.4.



**Рисунок 1.4** – Схема класифікації технологічних процесів

Гідравлічні процеси пов'язані з переміщенням рідких і газоподібних матеріалів, зокрема, транспортування, зберігання, дозування. Рушійною силою гідравлічних процесів є різниця тисків. Швидкість протікання гідравлічних процесів визначається законами гідродинаміки.

Теплові процеси пов'язані з передачею тепла від одного тіла до іншого. Це процеси нагрівання та охолодження, випаровування та конденсації, плавлення і тверднення. Рушійною силою теплових процесів є різниця температур. Швидкість проходження теплових процесів визначається законами теплопередачі.



Масообмінні процеси пов'язані з переходом речовини з однієї фази в іншу шляхом дифузії. В процесах масообміну завжди беруть участь дві фази, наприклад, рідка і парова, рідка і газоподібна, тверда і рідка, дві рідкі фази тощо. До цього класу процесів належить ректифікація, абсорбція, адсорбція, десорбція, екстракція, сушіння, кристалізація тощо. Рушійною силою масообмінних процесів є різниця концентрацій. Швидкість процесів визначається законами масопередачі.

Гідродинамічні процеси пов'язані з обробкою неоднорідних систем: рідин і газів (пари), що містять завислі в них тверді або рідкі частинки. До цих процесів відноситься центрифугування, перемішування, фільтрування, проходження газу та рідини через шар сипких матеріалів. Рушійна сила – це різниця тисків, що зумовлена різницею густин вихідних речовин. Швидкість процесів визначається законами гідродинаміки неоднорідних систем.

Механічні процеси, які пов'язані з обробкою твердих матеріалів, – це, зокрема, подрібнення, розмелювання, просіювання, перемішування, дозування та транспортування сипких матеріалів. Рушійною силою таких процесів є прикладання до тіла зусилля або напруження (стиснення, зсув, розтяг). Швидкість процесів визначається законами механіки твердих тіл.

Хімічні процеси пов'язані з перетворенням певної речовини з метою отримання відповідних сполук. До цього класу належить окиснення, відновлення, синтез, нейтралізація, електроліз, нітрування, крекінг, риформінг, піроліз, ізомеризація, полімеризація тощо. Рушійна сила – це різниця концентрацій реагуючих речовин. Швидкість хімічних процесів визначається законами хімічної кінетики.

Будь-який процес пов'язаний з супутніми процесами. Так, масообмін пов'язаний з перенесенням тепла і гідромеханічними процесами, хімічні реакції супроводжуються перенесенням тепла тощо.

За тепловим ефектом технологічні процеси поділяють на екзотермічні та ендотермічні. В процесі переробки сировини тепла енергія може виділятися або поглинатися. Екзотермічними (*від грецьк. – той, що віддає теплоту*) називають такі технологічні процеси, у яких при взаємодії реагуючих речовин виділяється теплота. Ендотермічними (*від грецьк. – той, що вбирає теплоту*) називають такі технологічні процеси, у яких при взаємодії реагуючих речовин поглинається теплота.

За агрегатним станом складових сировини технологічні процеси поділяють на гомогенні та гетерогенні. Гомогенними (*гомо – від грецьк. однаковий, ген – від грецьк. – створюю*) називають такі технологічні процеси, у яких всі реагуючі речовини (складові сировини) перебувають лише в одному стані: твердому, рідкому чи газоподібному. Гетерогенними (*гетеро – від грецьк. інший, ген – від грецьк. – створюю*) називають такі технологічні процеси, у яких всі реагуючі речовини (складові сировини) перебувають у різних агрегатних станах: твердому і рідинному, газовому і рідинному, твердому і газоподібному тощо.

### 1.3. Технологічна частина проєкту та технологічний регламент

Джерелами інформації про технологічні процеси виробництва на стадії його проєктування є технологічна частина проєкту, а на стадії його експлуатації виробництва – технологічний регламент.

Технологічна частина проєкту складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Розрахунково-пояснювальна записка містить:

- опис основних фізико-хімічних властивостей сировини та продукції, яка виготовляється;
- опис принципової технологічної схеми виробництва; характеристика й обґрунтування основних технологічних рішень та технологічних процесів;
- обґрунтування вибору основного технологічного обладнання, його характеристика та прийняті варіанти розташування;
- перелік виробничих процесів, для яких проєктується автоматизація;
- обґрунтування прийнятих у проєкті рішень про застосування в технологічних процесах та апаратах контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (автоматичний контроль, регулювання, блокування, захист);
- обґрунтування та характеристика джерел енергії (електричної, теплової), які використовуються у виробництві;
- матеріальні та технологічні розрахунки;
- режим роботи підприємства;
- вид і кількість стандартного та нестандартного обладнання;
- заходи техніки безпеки і пожежної безпеки.

Вказані заходи викладені у розділах “Охорона праці” або “Протипожежні заходи”, у яких дається узагальнена характеристика пожежної небезпеки виробництва та проєктні технічні рішення, прийняті для усунення або зменшення цієї небезпеки.

Графічний матеріал технологічної частини проєкту містить:

- принципovu схему технологічного процесу;
- схеми розташування технологічних трубопроводів та комунікацій;
- функціональні виробничі схеми або переліки систем автоматизації;
- плани і розрізи виробничих будівель та установок із розташуванням технологічного обладнання і транспортних засобів;
- схеми електропостачання та теплових мереж (на зведеному плані інженерних мереж);
- креслення нестандартного обладнання.

Гарантією безпечного чіткого функціонування технологічного процесу й отримання якісної продукції є дотримання технологічного регламенту. Технологічний регламент є основним технологічним документом, що визначає порядок проведення операцій технологічного процесу.

Технологічні процеси необхідно проводити відповідно до регламентів та іншої, затвердженої у встановленому порядку нормативно-технічної та експлуатаційної документації. Дотримання вимог технологічного регламенту,

які забезпечують якість продукції, що випускається, раціональне проведення технологічного процесу, цілісність устаткування і безпеку роботи, є обов'язковим.

Для кожного нового виробництва технологічний регламент розробляється науково-проектними організаціями галузі та конструкторським бюро підприємства безпосередньо або за участю науково-проектних установ на основі нових винаходів, патентів чи ліцензій. На продукцію виробництва розробляються спеціальні стандарти.

До впровадження у виробництво проект технологічного регламенту розглядається на вченій раді науково-дослідного закладу, розробника проекту чи технічній раді підприємства, після чого затверджується керівниками цих установ і підприємств. Будь-яка зміна регламенту має проводитись одночасно у всіх відділах і на всіх стадіях виробництва спеціальним розпорядженням технологічної служби, яке затверджується головним інженером. Контроль за дотриманням технологічного регламенту доручено змінному майстру (начальнику зміни).

Технологічні регламенти поділяють на:

- постійні (на діючих виробництвах);
- тимчасові (на нових виробництвах, а також на виробництвах, у технологію яких внесено принципові зміни);
- разові (на дослідних виробництвах).

Будь-які зміни або доповнення до технологічних регламентів повинні затверджуватися організацією, яка його встановила.

Кожний технологічний регламент починається з титульного листа, де зазначено назву технологічного процесу, назву підприємства, поставлено підпис керівника і печатку підприємства, підписи і посади осіб, відповідальних за розроблення технологічного процесу.

До складу технологічного регламенту, як правило, входять такі дані:

- загальна характеристика виробництва;
- характеристика продукції, що випускається;
- характеристика сировини, матеріалів та напівфабрикатів;
- опис технологічного процесу;
- норми технологічного режиму (тиск, температура, концентрація тощо);
- можливі неполадки, їх причини та способи усунення;
- щорічні норми витрати сировини та енергоресурсів;
- контроль виробництва;
- основні правила безпечного проведення процесу;
- щорічні норми утворення відходів (твердих відходів, стічних вод, викиди в атмосферу);
- охорона довкілля;
- перелік обов'язкових інструкцій;
- матеріальний баланс;
- технологічна схема виробництва;
- специфікація основного технологічного обладнання.

У технологічному регламенті вказується послідовність виконання операцій по стадіях технологічного процесу, співвідношення між виробничими

потужностями відділів та дільниць, розташування обладнання, оптимальний режим роботи технологічного обладнання, послідовність технологічного процесу та його параметри на кожній стадії.

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

Технологічна схема виробництва – це послідовний опис чи графічне зображення послідовних технологічних операцій (процесів) та відповідних їм апаратів з перетворення сировини на готову продукцію. Технологічні схеми виробництва поділяють на такі типи:

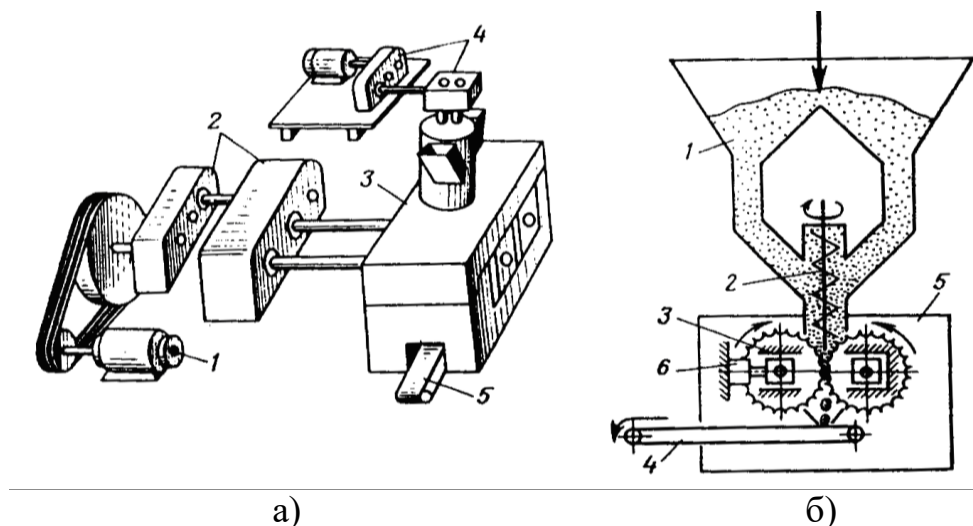
- з відкритим ланцюгом;
- циклічні (циркуляційні, кругові, замкнені).

Схема з відкритим ланцюгом складається з апаратів, через які всі компоненти проходять лише один раз. Циклічна схема передбачає багаторазове повернення до одного апарата всіх реагуючих мас чи однієї з фаз в гетерогенному процесі до досягнення заданого ступеня перетворення початкових речовин.

Технологічна схема має вигляд послідовних схематичних зображень пов'язаних між собою машин і апаратів або ж послідовних умовних позначень поєднаних між собою операцій.

Операція відбувається в одному чи декількох апаратах; у ній можуть поєднуватись різні технологічні процеси. В кожному апараті може відбуватися один процес чи їх сукупність.

Технологічні апарати на схемі зображають у вигляді спрощених зовнішніх обрисів елемента, стандартного умовного позначення, прямокутників і інших геометричних фігур. Приклади зображення технологічного обладнання, технологічних схем та операцій показано на рис. 1.5–1.7.

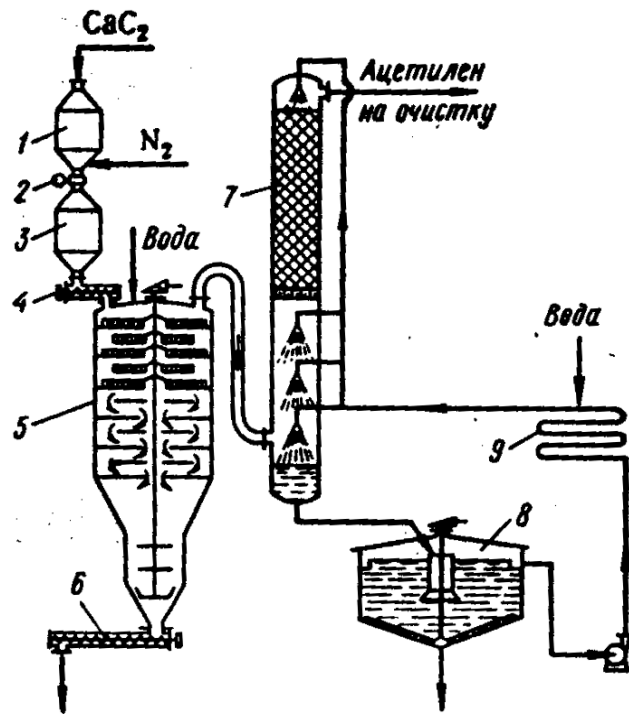


**Рисунок 1.5а** – Брикетувальний валковий прес високого тиску:

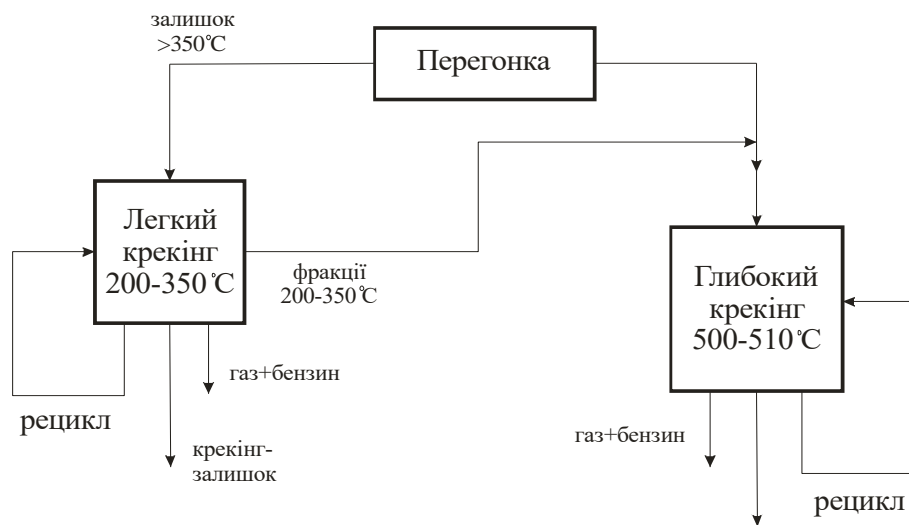
- 1 – електродвигун приводу валків; 2 – редуктори; 3 – формувальні валки; 4 – привод шнекового підпресувальника; 5 – транспортер брикетів

**Рисунок 1.5б** – Схема брикетувального валкового преса високого тиску:

- 1 – бункер лігніну; 2 – шнек-підпресувальник; 3 – пресувальні валки; 4 – транспортер; 5 – корпус преса; 6 – гідронасос



**Рисунок 1.6** – Технологічна схема виробництва ацетилену з карбіду кальцію: 1 – приймальний бункер, 2 – автоматичний затвор; 3 – буферний бункер; 4 – шнек; 5 – ацетиленовий генератор; 6 – шнек для вилучення вапна; 7 – скруббер; 8 – відстійник; 9 – холодильник



**Рисунок 1.7** – Схема термічного крекінгу мазуту

Технологічні схеми поділяють на повну і принципову.

Повна технологічна схема – детальне графічне зображення та опис технологічного процесу, включаючи всі операції, апарати, резервне обладнання, контрольно-вимірювальні прилади та 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. При первинному вивченні виробництва краще працювати з принциповою технологічною схемою.

Принципова технологічна схема містить таку інформацію:

- послідовність технологічних операцій (нагрівання, охолодження, фарбування, сушіння, хімічні реакції тощо);
- основне технологічне обладнання (теплообмінні апарати, ректифікаційні колони, насоси, компресори тощо) без вказування кількості однотипних апаратів;
- норми технологічного режиму (тиск, температура, концентрація тощо);
- місця вводу в процес сировини і допоміжних речовин та виходу з процесу готової продукції, побічних продуктів і відходів виробництва.

Принципова технологічна схема дає інформацію про фізико-хімічну суть процесів, що протікають у виробництві, і, отже, частину початкових даних для аналізу пожежної небезпеки цього виробництва.

Якщо при проведенні перевірки об'єкта або експертизи проєктних матеріалів у фахівця пожежного нагляду немає принципової технологічної схеми, але є повна, рекомендується спростити її, перетворивши на принципову. Цю роботу можуть виконати як проєктна організація чи підприємство, так і фахівці державного пожежного нагляду.

При розробці принципової технологічної схеми (чи перетворенні повної технологічної схеми на принципову) необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

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

Таким чином, використовуючи технологічний регламент, технологічну схему (повну чи принципову) та технологічну частину проєкту, можна оцінити вибухопожежонебезпеку апарата, процесу, а також рівень їх протипожежного захисту; з вказаних документів визначається інформація про технологічні процеси, необхідна працівникам пожежного нагляду для аналізу пожежної небезпеки об'єкта в цілому.

#### **1.4. Моделювання технологічних процесів**

З кожним днем актуальнішими стають проблеми економії сировини, палива, енергії, збільшення продуктивності технологічного обладнання, отримання якісної недорогої продукції, забезпечення вибухопожежонебезпеки, охорони довкілля. Досягти цього можна, якщо підтримувати оптимальний технологічний режим.

Оптимізацією (*походить з лат. optimus – найкращий*) технологічного процесу називають спрямовану діяльність людини на пошук такого технологічного режиму, за якого буде отримано найкращий результат. Таким результатом можуть бути найменші витрати сировини, палива, енергії, найбільша кількість продукції, найкраща її якість.

Для визначення найкращого результату технологічний процес зображають у вигляді певної моделі.

Моделлю називають спрощене зображення об'єкта, що досліджується.

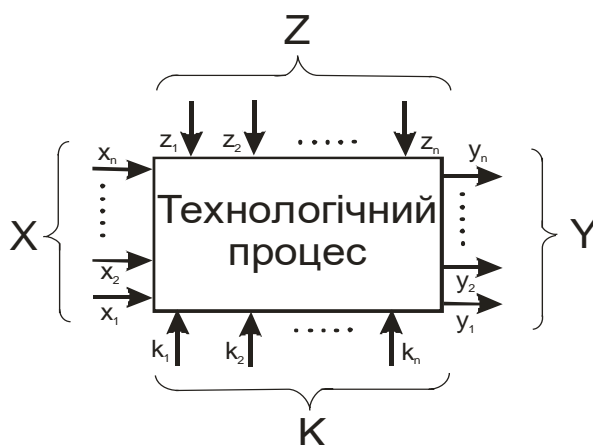
У процесі дослідження модель замінює досліджуваний об'єкт, дає нові пізнання про нього.

Моделі можуть мати вигляд графіків, рисунків, макетів, пристроїв (механічних, електричних) і формул. Модель завжди наближена до досліджуваного об'єкта.

Процес побудови моделі об'єкта, який досліджується, називається моделюванням.

Математична модель складається із системи формул, нерівностей або рівнянь, що з більшою або з меншою точністю описують явища, які відбуваються в об'єкті. В даному випадку досліджуваним об'єктом є технологічний процес.

Побудова математичної моделі технологічного процесу, зображеного на рис. 1.8, зводиться до знаходження виду залежності вихідних параметрів технологічного процесу від параметрів, які впливають на його хід.



**Рисунок 1.8** – Схема технологічного процесу та параметри, що впливають на його хід.

На хід технологічного процесу впливають вхідні параметри, збурення та керуючі параметри.

Вхідними параметрами є склад сировини, що необхідна для виготовлення продукції, її кількість тощо. Позначають їх відповідно  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , а всі разом –  $X$ .

Збуреннями можуть бути домішки, які містяться в сировині тощо. Їх значення випадково змінюється з часом. Позначають їх відповідно  $z_1, z_2, \dots, z_n$ , а всі разом –  $Z$ .

Керуючі параметри, до яких належить температура, тиск, концентрація тощо, позначають  $k_1, k_2, \dots, k_n$ , а всі разом –  $K$ .

Вихідні параметри – до них належить кількість проміжної чи готової продукції, побічної продукції, відходів тощо – визначаються станом технологічного процесу, який залежить від вхідних і керуючих параметрів та збурень.

Вихідні параметри позначають відповідно  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , а всі разом –  $Y$ .

Значення вхідних параметрів, до яких належить кількість проміжної чи готової продукції, її склад тощо, залежать саме від вхідних.

Залежність між вхідними параметрами технологічного процесу та параметрами, які впливають на його хід, можна описати за допомогою функції виду:

$$Y = f(X, Z, K)$$

Це є загальний вид математичної моделі одиничного технологічного процесу (операції).

За допомогою математичної моделі можна прогнозувати поведінку технологічного процесу в разі зміни параметрів, які впливають на його хід.

Якщо технологічний процес виготовлення певного виду продукції складається з  $N$  одиничних технологічних процесів, то для всіх їх будують подібні залежності. Побудувавши математичні моделі для всіх одиничних технологічних процесів, переходять до побудови математичної моделі складного технологічного процесу виробництва певного виду продукції, оскільки не можна аналізувати хід всього технологічного процесу за результатами окремих процесів.

Загальний вигляд математичної моделі складного технологічного процесу такий:

$$Y_i = F_{i=1,N}(X_i, Z_i, K_i)$$

Для кожного одиничного технологічного процесу, який відбувається в окремому апараті чи агрегаті, ця функціональна залежність матиме конкретний вигляд, про це свідчить зміна символу функції  $f$  на  $F$ , що означає набір різних функцій для різних процесів.

### Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть основні технологічні поняття.
2. Сформулюйте визначення „виробничий процес”. Яка відмінність його від технологічного процесу?
3. Назвіть типи виробництва? Охарактеризуйте їх.
4. Наведіть приклади основних, допоміжних і обслуговуючих процесів.
5. Яка відмінність між технологічною операцією і стадією?
6. Що таке продуктивність апарата, інтенсивність? Шляхи їх підвищення.
7. Які чинники впливають на тривалість виробничого циклу?
8. За якими принципами здійснюється побудова, функціонування і розвиток виробничого процесу?



9. Приведіть визначення таких нормативних показників як коефіцієнт використання матеріалів, питома витрата сировини і матеріалів, витратний коефіцієнт, корисна витрата сировини і матеріалів.
10. За якими ознаками класифікують технологічні процеси?
11. Які процеси є більш небезпечними: періодичні чи безперервні; стаціонарні чи нестаціонарні? Обґрунтуйте відповідь.
12. Як класифікують технологічні процеси за способом організації? Наведіть приклади таких процесів.
13. Як класифікують технологічні процеси за кратністю обробки сировини? Назвіть типи фізичних процесів.
14. Яка відмінність між технологічною частиною проєкту та технологічним регламентом?
15. З яких розділів складається розрахунково-пояснювальна записка?
16. Який графічний матеріал містить технологічна частина проєкту?
17. Технологічні регламенти, їх класифікація та складові частини.
18. Назвіть типи технологічних схем.
19. Як здійснити перетворення повної технологічної схеми у принципову?
20. Яку інформацію містить принципова технологічна схема?
21. В чому полягає оптимізація технологічного процесу?
22. Що таке модель технологічного процесу? Які параметри впливають на хід технологічного процесу?
23. Приведіть загальний вигляд математичної моделі складного технологічного процесу.

## РОЗДІЛ 2 ПОКАЗНИКИ ВИБУХОПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКИ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ

У промисловому виробництві обертаються (зберігаються чи переробляються) різноманітні за властивостями речовини: горючі гази, легкозаймисті та горючі рідини, тверді горючі матеріали, зокрема, горючі пил та волокна. Вивчення їх фізико-хімічних та вибухопожежонебезпечних властивостей дає можливість охарактеризувати горюче середовище. На всі застосовувані в технологічних процесах речовини і матеріали повинні бути дані про показники їх пожежної небезпеки. Вибухонебезпечні властивості характеризують здатність речовин та матеріалів до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості і умов протікання, можуть бути пожежа (дифузійне горіння) або вибух (дефлаграційне горіння попередньо перемішаної суміші горючого з окисником).

У таблиці 2.1. наведено основні показники, які характеризують вибухо- та пожежонебезпеку речовин та матеріалів.

**Таблиця 2.1**

Показники вибухо- та пожежонебезпечності речовин та матеріалів

Показник	Агрегатний стан речовини (матеріалу)			
	Газ	Рідина	Тверда речовина	Пил
1	2	3	4	5
Група горючості	+	+	+	+
Температура спалаху	–	+	–	–
Температура займання	–	+	+	+
Температура самозаймання	+	+	+	+
Концентраційні межі поширення полум'я	+	+	–	+
Температурні межі поширення полум'я	–	+	–	–
Температура тління	–	–	+	+
Умови теплового самозаймання	–	–	+	+
Мінімальна енергія запалювання	+	+	–	+
Кисневий індекс	–	–	+	
Здатність вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами	+	+	+	+
Нормальна швидкість поширення полум'я	+	+	–	–
Швидкість вигорання	–	+	–	–
Коефіцієнт димоутворення	–	–	+	–
Індекс поширення полум'я	–	–	+	–
Показник токсичності продуктів горіння полімерних матеріалів	–	–	+	–
Мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню	+	+	–	+
Мінімальна флегматизуюча концентрація флегматизатора	+	+	–	+
Максимальний тиск вибуху	+	+	–	+
Швидкість зростання тиску вибуху	+	+	–	+

**Примітка.** Знак «+» вказує на наявність даного показника, знак «–» – на його відсутність.

## 2.1. Характеристика газів

Гази – речовини, абсолютний тиск парів яких при 50 °С сягає 300 кПа і більше або критична температура яких менша 50°С. Інше визначення – речовини, тиск насичених парів яких при температурі 25 °С і тиску 101, 3 кПа перевищує 101,3 кПа.

Горючі гази можуть перебувати як у стиснутому, так і у скрапленому стані. Будь-який газ можна перетворити в рідину, шляхом зміни тиску та температури. Температура, нижче якої газ переходить у рідкий стан, називають критичною ( $T_{кр}$ ). Тиск, необхідний для скраплення газу при цій температурі, називається критичним ( $P_{кр}$ ).

Скраплені газы найбільш небезпечні під час значного підвищення температури, при цьому збільшується тиск газу на стінки апаратів чи резервуарів, в яких він знаходиться. Якщо температура перевищить критичну, що можливе при виникненні пожежі або наявності інших джерел тепла, то рідка фаза миттєво переходить у газоподібний стан. При цьому тиск збільшується в декілька разів і обладнання руйнується.

Оцінюючи вибухопожежонебезпеку горючих газів необхідно враховувати такі властивості:

- **група горючості**

Група горючості – класифікаційна характеристика здатності речовин і матеріалів до горіння. За рівнем горючості речовини і матеріали поділяють на три групи:

негорючі – речовини і матеріали, які не здатні до горіння на повітрі. Негорючі речовини можуть бути вибухопожежонебезпечними, наприклад, окисники чи речовини, які виділяють горючі продукти при взаємодії з водою, киснем повітря чи один з одним;

важкогорючі – речовини і матеріали, які здатні горіти у повітрі за наявності джерела запалювання, але не здатні горіти після його вилучення;

горючі – речовини і матеріали, які здатні самозагорятися, а також загорятися за наявності джерела запалювання і самостійно горіти після його вилучення.

Існує непрямий метод визначення груп горючості. Горючі газы відносять до горючих, якщо газ має концентраційні межі поширення полум'я; якщо газ не має меж поширення полум'я, але має температуру самозаймання, то його вважають важкогорючим. Однак, важкогорючий газ при нагріванні може стати горючим.

- **температура самозаймання** – найменша температура речовини, при якій в умовах спеціальних випробувань відбувається різке збільшення швидкості екзотермічних реакцій, що закінчується полум'яним горінням.

Температура самозаймання більшості газів є високою (більше 400°С), тому у нормальних умовах експлуатації апаратів самозаймання малоімовірно. Винятком є процес отримання деяких горючих газів сухою перегонкою кам'яного вугілля, сланців тощо. При цьому температура перевищує 800 °С і найменше витікання газу супроводжується його самозайманням.

- **нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я** ( $\varphi_H^o, \varphi_B^o$ ) – мінімальний і максимальний вміст горючої речовини в однорідній суміші з окисним середовищем, при якому можливе поширення полум'я по суміші на будь-яку відстань від джерела запалювання.

Суть методу визначення концентраційних меж поширення полум'я полягає в запалюванні газо-, паро- чи пилоповітряної суміші заданої концентрації досліджуваної речовини в об'ємі реакційної посудини і встановлення її мінімального та максимального значення за якого відбувається поширення полум'я.

Всі горючі гази здатні утворювати з повітрям вибухопожежонебезпечні суміші. Для більшості газів нижня концентраційна межа поширення полум'я низька, відповідно, навіть при незначному витокі можливе утворення у виробничому приміщенні вибухопожежонебезпечної концентрації. Для багатьох газів характерним є велика область займання (вибуху): для водню 4...75%, ацетилену 1,5...82%, оксиду вуглецю 12,5...75%, водяного газу 6,2...72%. Чим більшою є область займання (вибуху), тим більшу пожежну небезпеку має газ. Введення в газоповітряну суміш домішок негорючого газу зменшує його пожежну небезпеку, збільшуючи нижню межу поширення полум'я і зменшуючи область займання (вибуху). Основним показником для класифікації за ступенем пожежної небезпеки виробництв, в яких обертаються горючі гази, прийнята нижня концентраційна межа поширення полум'я.

- **мінімальна енергія запалювання** – найменше значення енергії електричного розряду, яке здатне запалити найбільш легкозаймисту суміш газу (пари чи пилу) з повітрям з ймовірністю 0,01 при оптимальних параметрах іскрового розряду.

- **здатність вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами**

Метод визначення небезпеки взаємного контакту речовин базується на механічному перемішуванні досліджуваних зразків в заданому співвідношенні і оцінці результатів випробувань.

- **нормальна швидкість поширення полум'я** – швидкість переміщення фронту полум'я відносно незгорілої суміші в напрямку, перпендикулярному до його поверхні. Для визначення нормальної швидкості поширення полум'я створюють газо-, пароповітряну суміш стехіометричного складу, запалюють її і оцінюють швидкість переміщення фронту полум'я.

- **максимальний тиск вибуху** – найбільший тиск, що виникає при дефлаграційному згорянні газо-, паро- чи пилоповітряної суміші в замкнутій посудині при початковому тиску горючої суміші 101,3 кПа.

Визначення максимального тиску вибуху полягає в запалюванні газо-, паро- чи пилоповітряної суміші заданого складу в об'ємі реакційної посудини і реєстрації надлишкового тиску, що виникає при займанні горючої суміші. Змінюючи концентрацію горючого в суміші, знаходять максимальне значення тиску вибуху.

- **швидкість зростання тиску при вибуху** – похідна тиску вибуху за часом на зростаючій ділянці залежності тиску вибуху газо-, паро- чи пилоповітряної суміші в замкнутій посудині від часу. Для визначення швидкості зростання тиску вибуху експериментально визначають максимальний тиск вибуху горючої суміші в замкнутій посудині, будують графік зміни тиску вибуху з часом, розраховують середню і максимальну швидкість.

- **мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню** – така концентрація кисню в горючій суміші горючої речовини, повітря, флегматизатора, нижче якої поширення полум'я в суміші стає неможливим при будь-якій концентрації горючого в суміші, яка розведена цим флегматизатором. Визначення мінімального вибухонебезпечного вмісту кисню полягає у випробуванні на займання газо-, паро- чи пилоповітряних сумішей різного складу, розведених цим флегматизатором, до виявлення мінімальної концентрації кисню і максимальної концентрації флегматизатора, при яких ще можливе поширення полум'я по суміші.

- **мінімальна флегматизуюча концентрація флегматизатора** – найменша концентрація флегматизатора в суміші з горючим і окисником, при якому суміш стає нездатною до поширення полум'я при будь-якому співвідношенні горючого і окисника.

При визначенні мінімальної флегматизуючої концентрації флегматизатора визначають концентраційні межі поширення полум'я горючої речовини при розведенні газо-, паро- чи пилоповітряних сумішей цим флегматизатором і будують «криву флегматизації». Пік «кривої флегматизації» відповідає значенню мінімальної флегматизуючої концентрації флегматизатора.

Одночасно із вивченням показників вибухопожежонебезпеки необхідно розглянути фізико-хімічні властивості газів, зокрема:

- **склад газу**

Дана властивість має значення для газів, які є фізичною сумішшю (світільний, водяний, генераторний тощо). Пожежна безпека таких газів залежить від їх складу. Водяний газ, наприклад, є суміш водню і оксиду вуглецю (CO) (утворюється під час продування водяної пари через розжарене вугілля), а в склад генераторного газу (утворюється в процесі газифікації твердого палива) входить до 7,7 % вуглекислого газу, тобто негорюча складова. Очевидно, що водяний газ є значно небезпечніший за генераторний.

- **густина**

Густина газів за повітрям виражається відношенням молекулярної маси повітря. Знаючи густину, можна наперед визначити місця найбільш ймовірних концентрацій газу, і відповідно, встановити місця розташування приймачів витяжної вентиляції.

- **теплота згоряння**

Теплота згоряння газу є дуже великою. Вона становить, наприклад, для метану біля 9500 ккал/м<sup>3</sup>, ацетилену біля 1400 ккал/м<sup>3</sup>. Теплота згоряння газу

впливає на температуру у вогнищі горіння, швидкість поширення полум'я, поведінку конструкцій будівлі і виробничої апаратури в умовах пожежі тощо.

- **здатність до електризації**

Електризація – здатність пилу до нагромадження статичної електрики під час руху.

Хімічно чисті гази є діелектриками, тому при рухові по трубах, при витіканні через отвори вони електризуються. Наявність домішок і вологи зменшує здатність до електризації, і відповідно, виключає можливість утворення високих потенціалів, що можуть призвести до іскрового розряду.

Величина потенціалів залежить від швидкості руху дисперсної маси пилу і може набувати великих значень. В окремих аспіраційних установках для транспортування пилу фіксувалися потенціали до 6000 В. Іскри від розрядів такого потенціалу мають достатню потужність щоб стати джерелом запалювання пилу.

- **розчинність**

Деякі гази здатні розчинятись у воді, легкозаймистих та інших рідинах. Це необхідно враховувати при визначенні способів зберігання газу і при гасінні пожеж.

- **корозійна здатність**

Корозійну здатністю мають гази, що містять сірчисті сполуки. При взаємодії металів з сірчистими сполуками утворюються сульфіди, які легко окиснюються на повітрі з вилученням значної кількості тепла, здатного нагріти їх до самозаймання. Крім цього, корозійно здатними є кисень і водень. При взаємодії газоподібного кисню з металом утворюються оксиди, які відшаровуючись, зменшують товщину стінок виробничих апаратів. При підвищенні тиску можлива дифузія водню вглиб металу виробничого обладнання. Метал стає крихким, втрачає свою міцність.

- **токсичність**

Більшість газів шкідливо діють на організм людини (є токсичними). До особливо отруйних газів відносяться: хлор, оксиди азоту, аміак, оксид вуглецю тощо. Цю здатність необхідно враховувати, щоб уникнути отруєння особового складу пожежних підрозділів при гасінні пожежі.

## 2.2. Характеристика рідин

Рідини – речовини, тиск насиченої пари яких, при температурі 25 °С і тиску 101,3 кПа, менший за 101,3 кПа; до рідин відносять також тверді, плавкі речовини, температура плавлення або краплепадіння яких менша за 50 °С.

При оцінці вибухопожежонебезпеки рідин необхідно враховувати такі властивості:

- **група горючості**

Для визначення групи горючості рідину у тиглі ставлять у піч нагріту до 900±10°С. Рідину вважають негорючою, якщо протягом 3 хв вона не займеться. Якщо після винесення рідини з печі вона самостійно горить менше 5 с, то її

вважають важкогорючою. При самостійному горінні 5 с і більше визначають температуру займання. За наявності температури займання речовину відносять до горючих, а за відсутності – до важкогорючих.

- **температура спалаху** – найменша температура конденсованої речовини, при якій в умовах спеціальних випробувань над поверхнею утворюються пари, які здатні спалахувати від джерела запалювання, але швидкість їх утворення ще недостатня для виникнення стійкого горіння. Спалах – швидке згоряння газопароповітряної суміші над поверхнею горючої речовини, яке супроводжується короткочасним видимим світінням.

Суть експериментального методу визначення температури спалаху полягає в нагріванні певної маси речовини з заданою швидкістю, періодичному запалюванні парів і встановленні факту наявності чи відсутності спалаху при фіксованій температурі.

За температурою спалаху з групи горючих рідин виокремлюють легкозаймисті – з температурою спалаху не більше 61°C в закритому тиглі або 66°C у відкритому тиглі. Особливо небезпечними називають легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28 °C.

- **температура займання** – найменша температура горючої речовини, за якої в умовах спеціальних випробувань речовина виділяє горючі пари чи гази з такою швидкістю, що при дії на них джерела запалювання виникає стійке полум'яне горіння. За наявності температури займання рідину відносять до горючих; за відсутності температури займання і наявності температури самозаймання рідину відносять до важкогорючих, за відсутності температури спалаху, займання, самозаймання, температурних і концентраційних меж поширення полум'я рідину відносять до групи негорючих.

- **температура самозаймання** – це найменша температура навколишнього середовища, за якої в умовах спеціальних випробувань спостерігається самозаймання речовин.

Суть самозаймання полягає в тому, що при нагріванні горючої речовини до певної температури починається процес окиснення, який супроводжується виділенням тепла. Швидкість реакції окиснення, а відповідно, і виділення тепла зростає з підвищенням температури суміші. Одночасно з виділенням тепла відбувається тепловіддача у довкілля. При досягненні температури, при якій теплота реакції перевищує тепловтрати, настає самонагрівання горючої речовини, а потім горіння. Таким чином, самозаймання – це різке збільшення швидкості екзотермічних об'ємних реакцій, яке супроводжується полум'яним горінням. Самонагрівання рідин, звичайно, відбувається в тонких плівках при нанесенні їх на розвинуті поверхні, наприклад бавовна, вата. До таких рідин відносяться рослинні олії і тваринні жири, які містять ненасичені сполуки з подвійними і потрійними зв'язками. Для більшості рідин ця температура знаходиться в межах від 300 до 600 °C, тобто самозаймання рідин за нормальних умов роботи технологічних апаратів виключається.

- **нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я** (див. п.2.1);

- **нижня та верхня температурні межі поширення полум'я**

Температурні межі поширення полум'я – це такі температури речовин, при яких їх насичена пара утворює в окисному середовищі концентрації, які дорівнюють нижній (нижня температурна межа) і верхній (верхня температурна межа) концентраційним межам поширення полум'я.

Нижня температурна межа займання називається температурою спалаху парів рідини. Горіння рідини відбувається при вищій температурі, яка називається температурою займання. Для легкозаймистих рідин температура займання перевищує температуру спалаху на 1 – 5 ° С, для горючих рідин цей інтервал більший. В основу класифікації за ступенем пожежної небезпеки легкозаймистих і горючих рідин, а також виробничих процесів, у яких вони застосовуються чи обробляються, покладено температуру спалаху парів рідини. Чим нижча температура спалаху, тим небезпечніша рідина, оскільки вибухонебезпечні концентрації можуть утворюватись при нормальній температурі приміщення.

Верхня температурна межа займання показує найбільшу температуру рідини, при якій можливе займання пароповітряної суміші. При температурі, більшій за верхню температурну межу, утворюється суміш насичених парів з повітрям, яка не здатна горіти.

Температурні межі поширення полум'я пов'язані з концентраційними співвідношенням:  $p_t = \varphi_n \cdot 760/100$ ,

де  $p_t$  – тиск насиченої пари, що відповідає концентраційній межі  $\varphi_n$ .

- **мінімальна енергія запалювання** (див п.2.1);
- **здатність вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами** (див п.2.1);
- **нормальна швидкість поширення полум'я** (див п.2.1);
- **швидкість вигорання** – кількість рідини, яка згоряє за одиницю часу з одиниці поверхні. Швидкість вигорання характеризує інтенсивність горіння рідини;
- **максимальний тиск вибуху** (див.п.2.1);
- **швидкість зростання тиску при вибуху** (див.п.2.1);
- **мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню** (див.п.2.1);
- **мінімальна флегматизуюча концентрація флегматизатора** (див.п.2.1);
- **здатність до електризації.**

Більшість легкозаймистих рідин є діелектриками. При їх рухові по трубах, зливів, наливів, перемішуванні і інших операціях, в результаті тертя утворюються електричні заряди. Іскровий розряд за наявності вибухонебезпечної пароповітряної суміші може стати причиною вибуху при пожежі.

Властивості рідин визначаються дослідним шляхом чи можуть бути взяті з технологічного регламенту і довідкової літератури. Однак, табличні дані справедливі тільки для рідин, які не містять домішок, тому що навіть незначний додаток їх різко змінює початкові властивості рідини. Наприклад, наявність у мазуті всього 3% бензину зменшує його температуру спалаху від 128 до 30° С, значно збільшуючи пожежну небезпеку.



## 2.3. Характеристика твердих речовин

Тверді речовини та матеріали – це індивідуальні речовини та їх композиції з температурою плавлення (краплепадіння) більшою за 50°C, а також речовини, які не мають температури плавлення.

При оцінці пожежовибухонебезпеки твердих горючих речовин необхідно враховувати такі властивості:

- **група горючості**

Горючість твердих матеріалів визначають трьома незалежними методами: групу горючих матеріалів визначають методом „вогневої труби”, групу важкогорючих – методом керамічної труби і групу негорючих – методом випробувань на негорючість. Слід зазначити, що будівельні матеріали за горючістю поділяють на негорючі і горючі. Горючі будівельні матеріали поділяють на чотири групи: Г1 (низької горючості); Г2 (помірної горючості); Г3 (середньої горючості); Г4 (підвищеної горючості);

- **температура займання** (див. п.2.2);

- **температура самозаймання** (див. п.2.2);

- **температура самонагрівання** – найнижча температура речовини, при якій самовільний процес її нагрівання призводить до тління чи полум'яного горіння;

- **температурні умови теплового самозагоряння** – це експериментально встановлена залежність між температурою навколишнього середовища, кількістю речовини і часом до моменту її самозагоряння;

- **температура тління** – це температура речовини, за якої відбувається різке збільшення швидкості екзотермічних реакцій окиснення, що закінчується виникненням тління. Тління – безполум'яне горіння твердої речовини (матеріалу) при порівняно низьких температурах (400...600°C), часто супроводжується виділенням диму.

- **здатність вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами** (див. п.2.1);

- **коефіцієнт димоутворення** – показник, що характеризує оптичну густину диму, який виділяється при полум'яному горінні чи термоокислювальній деструкції (тлінні) певної кількості твердої речовини (матеріалу) в умовах спеціальних випробувань. При визначенні коефіцієнта димоутворення фотометрично реєструють послаблення освітленості при проходженні світла через задимлений простір.

- **кисневий індекс** – це мінімальний вміст кисню в киснево-азотній суміші, за якого відбувається самостійне горіння зразка в умовах спеціальних випробувань;

- **показник токсичності** – відношення кількості матеріалу до одиниці об'єму замкнутого простору, в якому газоподібні продукти, які утворюються при горінні матеріалу, зумовлюють загибель 50% піддослідних тварин. За токсичністю продуктів горіння горючі будівельні матеріали поділяють на чотири групи: Т1 (малонебезпечні), Т2 (помірnoneбезпечні), Т3 (високонебезпечні), Т4 (надзвичайно небезпечні).

- **індекс поширення полум'я** – це умовний безрозмірний показник, який характеризує здатність речовин займатися, розповсюджувати полум'я по поверхні і виділяти тепло.

Для визначення індексу поширення полум'я оцінюють швидкість переміщення фронту полум'я поверхнею зразка матеріалу, який розташовується в зоні теплової дії теплового випромінювача.

## 2.4. Характеристика пилу та волокон

Пил – дисперговані тверді речовини і матеріали з частинками, розмір яких менший за 850 мкм. Частинки розміром більш ніж 850 мкм практично не здатні перебувати у завислому стані і не відносяться до пилу. У завислому стані пил утворює пилоповітряну суміш, яка називається аерозолем, в осілому стані – аерогелем.

Пил має здатність швидко займатись в стані аерозолі. Це зумовлюється розвинутою поверхнею його частинок. На пожежонебезпечні властивості пилу має значний вплив дисперсність. Більш подрібнений пил має високу хімічну активність, низьку температуру самозаймання і велику область займання. Пил таких металів, як алюмінію, магнію, перебуваючи у завислому стані, горить зі швидкістю вибуху. Висока швидкість горіння пояснюється здатністю адсорбувати кисень повітря.

При оцінці вибухопожежонебезпечності горючого пилу необхідно враховувати такі властивості:

- **група горючості** (див. п.2.3);
- **температура займання** (див. п.2.2);
- **температура самозаймання** (див. п.2.1);
- **нижня концентраційна межа поширення полум'я** ( $\varphi_H^o$ ) –

мінімальний вміст горючого пилу в суміші «горюча речовина – окисне середовище», у якому можливе поширення полум'я по суміші на будь-яку відстань від джерела запалювання.

Верхня концентраційна межа займання пилу є настільки високою, що практичного значення для оцінки пожежної небезпеки не має. Зокрема, лабораторними дослідженнями було встановлено, що для вибухонебезпечного пилу верхня концентраційна межа займання становить 10000 г/м<sup>3</sup> і більше.

Вибухонебезпечні концентрації можуть утворюватись у виробничих приміщеннях, обладнанні, транспортувальних, вентиляційних та інших установках. Здатність пилу утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші залежить від наявності в ньому летких речовин, дисперсності частинок, ступеня вологості пилу і повітря, наявності мінеральних домішок та інших чинників. Не утворює вибухонебезпечні суміші з повітрям тільки такий органічний пил, який при розкладі дає менше 10% (за масою) газоподібних речовин чи має здатність до коагуляції, тобто злипання і швидкого осідання.

Існує наближений поділ промислового пилу за ступенем вибухопожежонебезпечності і пожежонебезпечності:

I клас – найбільш вибухонебезпечний пил з  $\varphi_H \leq 15 \text{ г/м}^3$ ;

II клас – вибухонебезпечний пил з  $16 \text{ г/м}^3 \leq \varphi_H \leq 65 \text{ г/м}^3$ ;

III клас – найбільш пожежонебезпечний пил з температурою самозаймання не більше  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

IV клас – пожежонебезпечний пил з температурою самозаймання понад  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Вказана класифікація пилу тривалий час використовувалась у нормативних документах, які регламентують рівень вибухопожежонебезпеки виробництва. Однак, вивчення вибухопожежонебезпеки промислового пилу, показало, що аерозолі речовин із НКМРП, що перевищує  $65 \text{ г/м}^3$ , найчастіше є не менш небезпечними, ніж аерозолі речовин із НКМРП меншою ніж  $65 \text{ г/м}^3$ . Крім цього, було встановлено, що не вся маса горючого пилу (газів, парів), що виходять в об'єм виробничих приміщень, бере участь у вибуху.

Це було відображено в стандарті, який регламентує поділ на категорії – ДСТУ Б В.1.1.38: 2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою». Згідно з ним:

– **вибухопожежонебезпечним (категорія Б)** вважається горючий пил або волокна у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, що перевищує  $5 \text{ кПа}$ .

– **пожежонебезпечним (категорія В)** вважається пил або волокна, які здатні при взаємодії з киснем повітря або один з одним тільки горіти.

- **температурні умови теплового самозаймання** (див. п.2.3);
- **мінімальну енергію запалювання** (див. п.2.1);
- **здатність вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами** (див. п.2.1);
- **максимальний тиск при вибуху** (див. п.2.1).

Вибухова хвиля (зона ущільненого повітря) створює тиск вибуху. Його величина залежить від нижньої концентраційної межі займання пилу, робочої концентрації та об'єму пилоповітряної суміші.

Залежно від концентрації, тиск вибуху спочатку зростає, а потім зменшується. Теоретично найбільший тиск буде створюватися при стехіометричній концентрації, але через неповноту горіння при дещо більшому її значенні. Максимальний тиск вибуху пилу фіксувався у вугільних штольнях і сягав до  $30 \text{ атм}$ .

На реальних пожежах можливі подвійні і навіть потрійні вибухи пилу. При цьому вибухова хвиля першого вибуху підіймає у повітря осілий пил і він також вибухає. Як правило, такі вибухи мають велику потужність і призводять до значних руйнувань.

- **швидкість наростання тиску при вибуху** (див. п.2.1);
- **мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню** (див. п.2.1);
- **мінімальна флегматизуюча концентрація флегматизатора** (див. п.2.1).

Слід зазначити, що для характеристики горючого пилу, який перебуває у завислому стані в газовому середовищі (аерозоль), використовують такі показники вибухопожежонебезпеки:

- нижня концентраційна межа поширення полум'я;
- мінімальна енергія запалювання;
- максимальний тиск вибуху;
- швидкість наростання тиску при вибуху;
- мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню.

Горючий пил в осілому стані в газовому середовищі (аерогель), характеризується іншими показниками вибухопожежонебезпеки:

- температура займання;
- температура самозаймання;
- температура самонагрівання;
- температура тління;
- температурними умовами теплового самозагоряння;
- мінімальною енергією запалювання;
- здатністю вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншим речовинами.

Всі вищевикладені властивості газів, рідин, твердих речовин та пилу визначаються з технологічного регламенту, довідкової літератури або можуть бути визначені експериментально в лабораторних умовах. При цьому необхідно пам'ятати, що властивості речовин можуть змінюватися залежно від температури та тиску, тому для визначення точних властивостей речовин слід з'ясувати параметри технологічного процесу.

Знаючи вибухопожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, які задіяні на виробництві, і визначивши їх кількість, можна встановити (розрахувати) категорію приміщення з вибухопожежної та пожежної безпеки.

### **Запитання та завдання для самоконтролю**

1. За якими показниками характеризують вибухопожежонебезпеку речовин та матеріалів?
2. Охарактеризуйте агрегатні стани речовин та проведіть їх оцінку з точки зору вибухопожежонебезпеки.
3. Як класифікують горючі гази? Наведіть приклади горючих газів та галузь їх застосування.
4. Що таке температура самозаймання? Яким речовинам вона властива?
5. Сформулюйте визначення нижньої та верхньої концентраційних меж поширення полум'я.
6. Чи відбудеться займання газоповітряних сумішей (водневоповітряної, ацетиленової, суміші із повітря та оксиду вуглецю(II), суміші із повітря та водяного газу), якщо концентрація газів становить: 3,0%; 89,0%; 21,5%; 62,0%, відповідно?
7. Які параметри характеризують вибух?

8. При яких технологічних процесах у матеріалі відбувається нагромадження статичної електрики?
9. Які гази є токсичними?
10. Які речовини називають флегматизаторами? Дайте визначення мінімальної флегматизуючої концентрації флегматизатора.
11. Яка відмінність між горючою та важкогорючою рідиною?
12. Для якого типу речовин (за агрегатним станом) характерна температура спалаху?
13. Як класифікують тверді горючі матеріали згідно з ДБН В 1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»? Назвіть методики для визначення горючості.
14. Як класифікують горючі рідини за температурою спалаху?
15. Який пил називають пожежонебезпечним та вибухопожежонебезпечним ?
16. Як називають пил в осілому та у завислому станах?
17. Чи є пилом диспергований твердий матеріал з частинками розміром 950 мкм?
18. За яким показником оцінюють токсичність горючих матеріалів? Як класифікують горючі матеріали за токсичністю продуктів горіння згідно з ДБН В.1.1-7-2016 „Пожежна безпека об'єктів будівництва”?
19. Чому для оцінки вибухопожежонебезпеки пилу користуються лише нижньою концентраційною межею поширення полум'я?
20. Що таке кисневий індекс?

### РОЗДІЛ 3

## АНАЛІЗ УМОВ УТВОРЕННЯ ГОРЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЗАХОДИ ДЛЯ ЙОГО ЗАПОБІГАННЯ

Аналізуючи вибухопожежонебезпеку технологічних процесів необхідно встановити можливість утворення горючого середовища як всередині виробничого обладнання, так і при виході з нього з урахуванням властивостей та режиму його роботи, виявити причини пошкоджень і аварій апаратів. Класифікацію умов утворення горючого середовища представлено на схемі рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Схема класифікації умов утворення горючого середовища

### 3.1. Горюче середовище всередині апаратів

Вивчаючи пожежну небезпеку технологічних апаратів, необхідно, насамперед, з'ясувати можливість виникнення горючого середовища всередині апаратів при нормальному перебігу технологічного процесу. При однакових умовах для горючих газів, легкозаймистих і горючих рідин, горючого пилу причини та умови виникнення горючого середовища різні. Тому горюче середовище всередині технологічних апаратів при нормальному перебігу технологічного процесу необхідно розглядати:

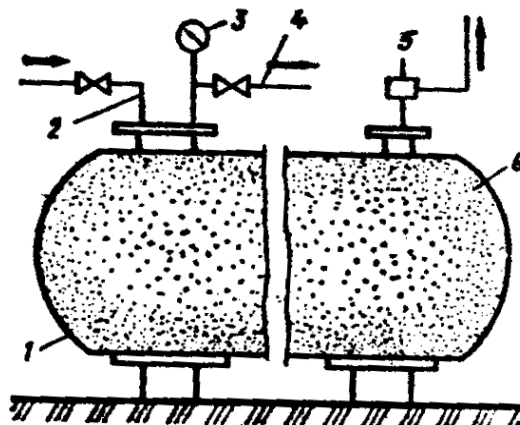
- в апаратах з горючими газами;
- в апаратах з легкозаймистими та горючими рідинами;
- в апаратах з горючими пилом та волокнами.

#### Апарати з горючими газами

У технологічних процесах отримують або використовують в якості сировини чи палива різноманітні горючі гази. Вуглеводневі гази (метан, етан, пропан, бутан, етилен, ацетилен) використовують при виробництві пластмас, синтетичних каучуків, хімічних волокон тощо; водень, хлорид водню, оксид вуглецю – при отриманні продуктів органічного синтезу; аміак – в

холодильній техніці, при виробництві міндобрив. Поряд із промисловим використанням, такі гази, як пропан, бутан, використовують у побуті. Крім індивідуальних газів широко використовують багатоконпонентні горючі гази, зокрема нафтовий, коксовий, генераторний, природний.

В апаратах із горючими газами (рис.3.2), як правило, немає окисника, горюча концентрація всередині таких апаратів утворитись не може. Однак у деяких процесах за умовами технології використовується суміш горючого газу з повітрям або киснем, наприклад, в процесі виробництва водню конверсією метану чи ацетилену – термоокисним піролізом природного газу.



**Рисунок 3.2** – Апарат зі стиснутим газом:

1 – корпус; 2 – наповнювальна лінія; 3 – манометр; 4 – витратна лінія; 5 – запобіжний клапан; 6 – газ

Наявність вибухонебезпечної концентрації в таких апаратах може бути виражена умовою:

$$\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v,$$

де:  $\varphi_p$  – робоча концентрація горючого газу в апараті, об.частки, % об. або  $\text{г/м}^3$ ;  $\varphi_n, \varphi_v$  – нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я, об.частки, % об. або  $\text{г/м}^3$ .

Значення  $\varphi_n$  та  $\varphi_v$  приведені при  $25^\circ\text{C}$  і атмосферному тиску. Визначити значення величин  $\varphi_n$  та  $\varphi_v$  при температурі середовища, яка відрізняється від  $25^\circ\text{C}$ , можна за формулами:

$$\varphi_{n,t} = \varphi_{n,25} \left( 1 - \frac{t - t_n}{t_2' - t_n} \right) = \varphi_{n,25} \left( 1 - \frac{t - 25}{1250} \right),$$

$$\varphi_{v,t} = \varphi_{v,25} \left( 1 + \frac{t - t_n}{t_2' - t_n} \right) = \varphi_{v,25} \left( 1 + \frac{t - 25}{800} \right),$$

де:  $t_2', t_2$  – адиабатична температура горіння граничних сумішей,  $^\circ\text{C}$ ;  $t, t_n$  – необхідна і нормальна температура,  $^\circ\text{C}$ ;

Робочу концентрацію горючого газу у суміші з окисником визначають за даними технологічного регламенту, аналізом суміші або з рівняння матеріального балансу апарата за формулами:

$$\varphi_p = \frac{V_2}{V_2 + V_{OK}}, \text{ або } \varphi_p = \frac{G_2}{G_2 + G_{OK}},$$

де:  $V_2$ ,  $V_{OK}$  – об'єми відповідно горючого газу та окисника в апараті, м<sup>3</sup>;  $G_2$ ,  $G_{OK}$  – об'ємні витрати горючого газу та окисника, м<sup>3</sup>/год.

Для чистих скраплених газів склад парової фази може бути визначено як для горючих рідин: за температурою і тиском у закритому апараті.

### **Заходи для запобігання утворенню горючого середовища в апаратах із газами:**

- Підтримання концентрації горючого газу в суміші з окисником за межами області займання з врахуванням запасу надійності (якщо це припустимо за умовами технології):

$$0,9(\varphi_n - 0,7R) \geq \varphi_{p.без} \geq 1,1(\varphi_v + 0,7R),$$

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

Для безперервного контролю за величиною робочої концентрації газу апарати обладнують газоаналізаторами.

- Підтримання в газових комунікаціях надлишкового тиску, що запобігає підсмоктуванню зовнішнього повітря через нещільності:  $P_p \geq P_{атм}$ . Наприклад, у трубопроводах факельних систем, якими безперервно (чи періодично) здійснюється скидання горючих газів на спалювання чи утилізацію.

- Безперервний автоматичний контроль вмісту небезпечної домішки в газі (окисника в інертному газі, окисника в суміші горючого та інертного газів, горючого в окиснику).

Наприклад, контроль кисню в азотоводневій суміші перед стисненням у компресорах в процесі синтезу аміаку. Для контролю вмісту небезпечної домішки апарати і трубопроводи обладнують стаціонарними автоматичними газоаналізаторами і, крім того, передбачають блокування на вузлах засувки, що виключає потрапляння домішки в технологічний газовий потік.

- Стабілізація зони горіння горючої суміші у захищеному просторі реактора. Досягається шляхом вибору швидкості і режиму руху горючої суміші, що запобігає «проскакуванню» полум'я (переміщенню зони горіння) у незахищений простір реактора або інших апаратів.

- Аварійна цілеспрямована зміна складу горючої суміші, що забезпечує швидкий перехід її в негорючий стан. Досягається шляхом використання інертного компонента (флегматизатора) чи шляхом припинення подачі одного з компонентів горючої суміші, у деяких випадках – припиненням подачі двох компонентів.

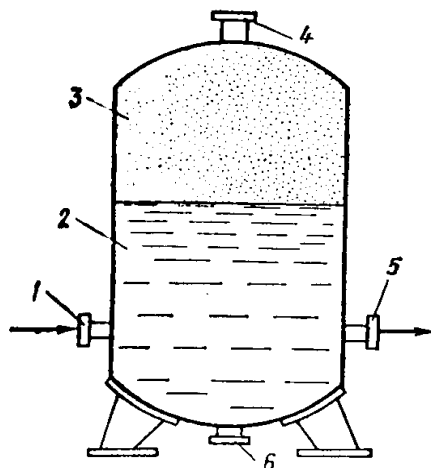
### **Апарати з легкозаймистими і горючими рідинами**

Широке застосування в технологічних процесах апаратів із легкозаймистими та горючими рідинами є причиною виникнення горючого середовища, що в кінцевому випадку може призвести до горіння. Тому важливо знати умови утворення вибухонебезпечних концентрацій всередині



технологічного обладнання, а також засоби захисту апаратів і трубопроводів з врахуванням специфіки проведення технологічного процесу.

Всередині закритого апарата з легкозаймистими та горючими рідинами горюче середовище може утворитися тільки за наявності в апараті вільного від рідини об'єму (газового простору), що з'єднується з атмосферою і насичується парами рідини (рис. 3.3). За наявності повітря (чи іншого окисника) пари рідини змішуючись з ним можуть утворювати горючі суміші.



**Рисунок 3.3** – Схема апарата з нерухомим рівнем рідини:

- 1 – патрубок для подачі рідини; 2 – рідина; 3 – пароповітряний простір;  
4 – патрубок дихальної лінії; 5 – патрубок для відведення рідини; 6 – патрубок дренажної лінії

В результаті дифузії і конвективних потоків концентрація парів індивідуальних речовин в повітряному просторі апаратів майже не змінюється за висотою. Тобто, горюче середовище в апаратах з легкозаймистими та горючими рідинами утворюватиметься за таких умов:

- наявність вільного повітряного простору (окисника);
- робоча концентрація парів рідини в суміші з окисником знаходиться між нижньою та верхньою концентраційними межами поширення полум'я, що виражається нерівністю:

$$\varphi_n \leq \varphi_p \leq \varphi_v,$$

де  $\varphi_p$  – робоча (фактична) концентрація парів рідини в апараті, кг/м<sup>3</sup> або % об.;  
 $\varphi_n, \varphi_v$  – нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я, кг/м<sup>3</sup> або % об.

Вибухобезпечні умови експлуатації герметичних апаратів з пожежонебезпечними рідинами визначаються зі співвідношень:

$$\varphi_{p,без} \leq 0,9 (\varphi_n - 0,0021) \text{ або } \varphi_{p,без} \geq 1,1 (\varphi_v + 0,0042).$$

При сталому технологічному режимі експлуатації апарата пари рівномірно розподіляються по всьому об'єму газового простору, створюючи насичену концентрацію – ( $\varphi_s$ ), величина якої залежить від температури середовища в апараті. Оскільки  $\varphi_s = f(T)$ , умова утворення горючого середовища в апараті в такому випадку визначається співвідношенням:

$$t_n \leq t_p \leq t_v,$$

де  $t_p$  – робоча температура рідини в апараті, °С;  $t_n, t_v$  – нижня та верхня температурні межі поширення полум'я, °С.

Робоча температура рідини визначається за показниками приладів, з технологічного регламенту або з пояснювальної записки до проєкту. Якщо робоча температура рідини в процесі експлуатації апарата змінюється, то необхідно визначити найбільш небезпечні періоди роботи, що, в свою чергу, залежить від сукупності умов роботи апарата або технологічної установки в цілому. При незначних коливаннях за розрахункову температуру приймають середню робочу температуру рідини.

Вибухобезпечні температурні умови експлуатації апаратів визначають зі співвідношень:

$$t_{p.без} \leq \frac{B}{A - \lg[0,9 \cdot 10^{-3}(\varphi_n - 0,0021)P_o]} - C_a$$

або

$$t_{p.без} \geq \frac{B}{A - \lg[1,1 \cdot 10^{-3}(\varphi_v + 0,0042)P_o]} - C_a.$$

де  $A, B, C_a$  – константи Антуана, які залежать від властивостей горючої рідини і визначаються за довідковою літературою.

Температурні межі поширення полум'я пожежонебезпечних рідин при атмосферному тиску можна перерахувати в концентраційні (або навпаки) за формулою:

$$t_{mрп} = \frac{B}{A - \lg(10^{-3} \varphi_{mрп} P_o)} - C_a,$$

де  $t_{mрп}$  – температурна межа поширення полум'я (нижня або верхня), °С;  $\varphi_{mрп}$  – температурна межа поширення полум'я (нижня або верхня).

У апаратах із рідинами, які зберігаються протягом тривалого періоду часу, особливо нагрітими, концентрація парів у вільному просторі близька до насиченої, тобто  $\varphi_p = \varphi_s$ ,

де  $\varphi_s$  – концентрація насиченої пари при робочій температурі рідини, яка визначається за формулою:

$$\varphi_s = \frac{P_s}{P_p},$$

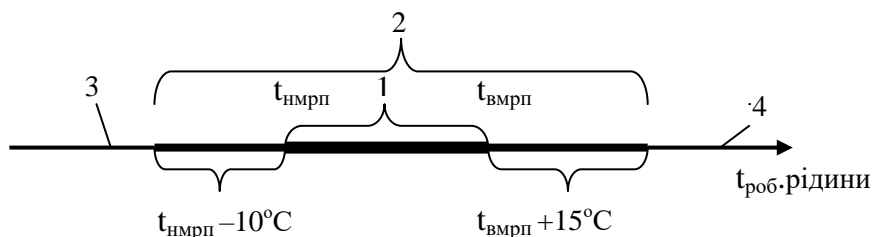
де  $P_s$  – тиск насичених парів при робочій температурі рідини, Па, визначається за рівнянням Антуана:

$$P_s = 133,322 \cdot 10^3 \left( A - \frac{B}{t_p + C_a} \right),$$

де  $A, B, C_a$  – константи, які залежать від властивостей рідини;  $P_p$  – робочий тиск пароповітряної суміші в апараті, Па;  $t_p$  – робоча температура рідини, °С.

Практично оцінюючи вибухопожежонебезпеку всередині апаратів і посудин, необхідно врахувати певний запас надійності, оскільки, довідкові температурні межі поширення полум'я можуть частково не відповідати властивостям рідин, а також в реальних умовах можливе нерівномірне поширення концентрацій у вільному просторі апарата. Запас надійності на температурних межах поширення полум'я приймається таким:  $t_{нмрп} - 10^{\circ}\text{C}$  і  $t_{вмрп} + 15^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 3.4 показана зона поширення полум'я з урахуванням запасу надійності ( $t_{нмрп}$ ,  $t_{вмрп}$  – нижня та верхня температурні межі поширення полум'я).



**Рисунок 3.4** – Зона поширення полум'я пароповітряних концентрацій з урахуванням запасу надійності:

1 – область температур, за яких в апараті утворюються пароповітряні суміші в межах поширення полум'я; 2 – область поширення полум'я пароповітряних сумішей з урахуванням запасу надійності; 3 – область температур, за яких суміші мають концентрацію нижчу від нижньої межі поширення полум'я; 4 – область температур, за яких суміші мають концентрацію вищу від верхньої межі поширення полум'я.

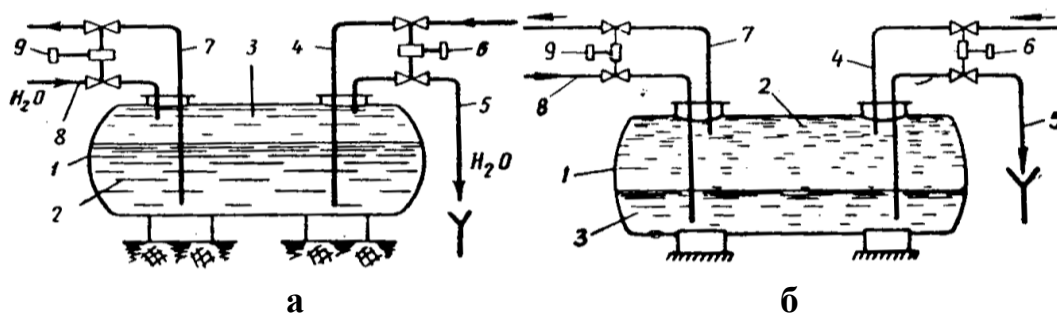
### Заходи для запобігання утворення горючого середовища в апаратах з легкозаймистими та горючими рідинами:

1. Ліквідація пароповітряного простору, яка здійснюється такими способами:

- граничним (повним) заповненням апаратів рідиною.

Реактори змієвикового типу, теплообмінники, електродегідратори, тобто апарати, які при нормальному режимі роботи завжди працюють при повному заповненні. У таких апаратах існує небезпека переливу при наповненні апарата рідиною або при підвищенні температури в заповненому апараті.

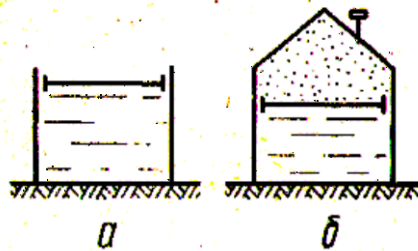
- влаштуванням сховищ, у яких ЛЗР чи ГР знаходяться під захисним шаром води (наприклад, зберігання сірковуглецю) або над шаром води (наприклад, нафтопродукти) (рис.3.5);



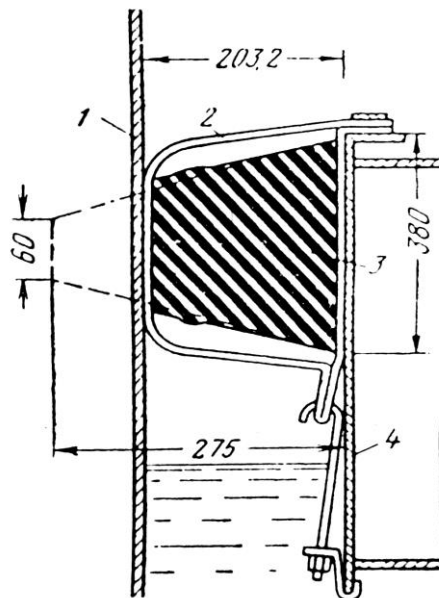
**Рисунок 3.5** – Зберігання горючої рідини під шаром води (а) та над шаром води (б): 1 – корпус; 2 – горюча рідина; 3 – вода; 4 – лінія подачі горючої рідини; 5 – лінія відведення води; 6,9 – приводи з блокуванням; 7 – витратна лінія горючої рідини; 8 – лінія подачі води на перетиснення.

- застосуванням резервуарів із плаваючою покрівлею і плаваючими понтонами.

Плаваюча покрівля (рис.3.6а) одночасно виконує роль зовнішнього стаціонарного даху. Кільцеву щілину між дахом, що плаває, і стінкою резервуара ущільнюють спеціальним затвором, який забезпечує відповідну герметичність при переміщенні даху вниз і вгору (рис.3.7). У резервуарі такої конструкції горюче середовище може утворитися тільки в кільцевій щілині під ущільненням, а також при зниженні рівня рідини нижче граничного нижнього положення даху, коли вона опускається на опорні стійки.



**Рисунок 3.6** – Резервуар з плаваючим дахом, (а) і з плаваючим понтоном (б)



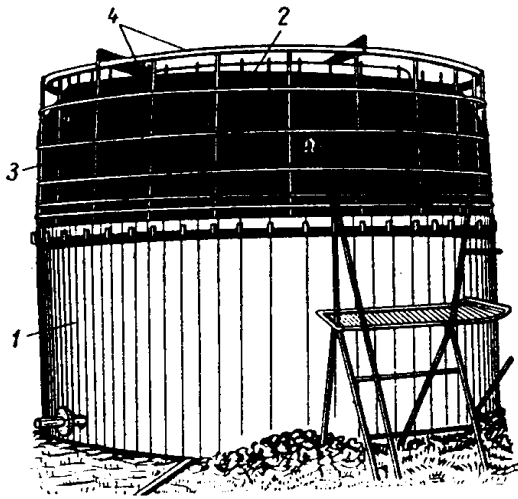
**Рисунок 3.7** – Затвор плаваючого даху:

1 – стінка резервуару; 2 – оболонка, 3 – ущільнення затвора; 4 – дах, що плаває

У резервуарі зі стаціонарним дахом і плаваючим понтоном, (рис. 3.6б) запобігти утворенню горючого середовища можливо лише за умови забезпечення інтенсивного (хоча б природного) провітрювання розгерметизованого надпонтонного газового простору. Використання понтона призводить до зменшення концентрації парів легкозаймистої рідини в пароповітряному просторі над понтоном, що за відсутності вентиляції підвищує вибухопожежонебезпечність надпонтонного простору.

- застосуванням резервуарів із м'якими (еластичними) стінками.

Такі резервуари виготовлені, як правило, з гумотканинного матеріалу і являють собою замкнуту оболонку у вигляді подушки (рис. 3.8).



**Рисунок 3.8** – Резервуар з еластичним корпусом: 1 – корпус металевий; 2 – дах; 3 – еластична стінка з прогумованої тканини; 4 – каркас

2. Застосування високостійких пін, емульсій, порожнистих мікрокульок з полімерних матеріалів (карбамідних і фенолформальдегідних). Такі речовини і матеріали здатні, не руйнуючись, плавати на поверхні горючої рідини у резервуарі, створюючи необхідної товщини прошарок і необхідну герметизацію з корпусом та тривалий час перешкоджати випаровуванню.

3. Створення температурних умов, які виключають утворення вибухонебезпечних концентрацій.

Досягається за допомогою систем автоматичного контролю і регулювання температури, яка повинна підтримуватись згідно із співвідношенням:  $t_n > t_p > t_v$ .

Вибухобезпечна концентрація горючих парів рідини і окисника в суміші з урахуванням коефіцієнта безпеки:

$$0,9(\varphi_n - 0,7R) \geq \varphi_{p.без} \geq 1,1(\varphi_v + 0,7R),$$

де  $\varphi_{p.без}$  – вибухобезпечна концентрація горючих речовин в газоповітряній суміші, % об.,  $R$  – відтворність методу визначення показника пожежної небезпеки при довірчій ймовірності 95% не повинна перевищувати 0,3% на нижній та 0,6% на верхній концентраційних межах поширення полум'я.

Робоча температура підтримується нижчою за нижню температурну межу поширення полум'я (наприклад, у мазутному резервуарі, що підігрівається), чи вищою за верхню температурну межу поширення полум'я (наприклад, у ректифікаційній колоні). При цьому забезпечуються постійні умови роботи апарата з робочою температурою, нижчою за нижню температурну межу поширення полум'я, тобто:  $t_p < t_n$ , або вища від верхньої температурної межі поширення полум'я, тобто:  $t_p > t_v$ .

В першому випадку застосовують системи охолодження або обмежують температуру підігріву, друга умова забезпечується високими температурами, необхідними в технологічному процесі. Апарати, які працюють у вказаних температурних умовах, повинні оснащуватися приладами автоматики для контролю температурного режиму.

4. Флегматизація пароповітряного простору шляхом введення негорючих (інертних) газів у газовий простір апарата

Якщо в апараті існують умови для утворення вибухонебезпечної концентрації парів і неможливо змінити температурний режим роботи, то забезпечити безпеку експлуатації апарата можна шляхом подачі в нього будь-

якого негорючого газу або водяної пари (якщо робоча температура апарата більша ніж  $100^{\circ}\text{C}$ ).

В результаті флегматизації зменшується концентрація окисника (кисню повітря) або він повністю витісняється. Крім цього, володіючи певною теплоємністю, введені флегматизатори здатні забирати частину тепла, яке пішло б на нагрівання початкової горючої суміші. Тому ефективність дії інертного компонента тим більша, чим вища його теплоємність. Негорючими газами (флегматизаторами) можуть бути азот, вуглекислий газ, водяна пара, вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння. Додавання інертних компонентів погіршує горючі властивості середовища. Область займання при цьому звужується аж до її повної ліквідації при визначеній (флегматизуючій) концентрації інертного компонента.

Флегматизуючі концентрації інертних газів (при досягненні і перевищенні яких займання неможливе) для сумішей різних горючих речовин з повітрям наводяться в довідковій літературі.

Витрату інертного газу визначають за об'ємом газового простору апарата чи за продуктивністю апарата.

5. Введення в горючу рідину додатків, що зменшують пружність парів (парціальний тиск) і випаровуваність рідини.

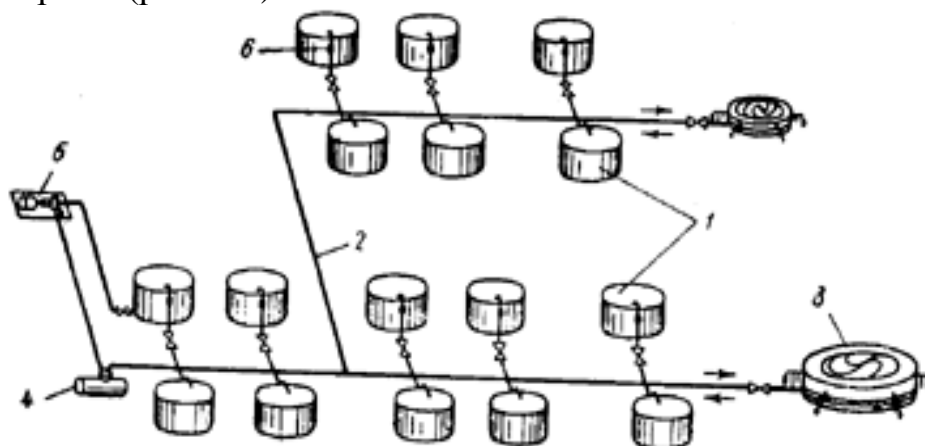
В якості таких додатків можуть використовуватися:

- вода – для спиртів, ацетону, оцтової кислоти;
- чотирихлористий вуглець ( $\text{CCl}_4$ ) – для нафтопродуктів і сірковуглецю;
- спеціальні желатинізувальні (загущувальні) добавки – для моторного палива в авіації.

Недоліком цього способу є те, що при цьому можуть змінюватися властивості речовин.

6. Зменшення швидкості зміни рівня рідини шляхом збільшення числа апаратів, що одночасно спорожнюються.

7. Запобігання чи обмеження потрапляння атмосферного повітря в апарат при його спорожненні, шляхом влаштування газової обв'язки синхронно працюючих апаратів (рис. 3.9).



**Рисунок 3.9** – Газорівнювальна обв'язка резервуарів з ЛЗР чи ГР:

1 – резервуари; 2 – лінія пароповітряної суміші; 3 – газгольдер;

4 – конденсатозбірник; 5 – насос для відкачування конденсату;

6 – вогнеперешкоджувач на лінії пароповітряної суміші

## Апарати з горючими пилом та волокнами

У виробничих умовах пил і порошки (тонкоподрібнені тверді речовини і матеріали) використовують в якості сировини (порошки в порошковій металургії, полівінілхлорид у виробництві лінолеуму, сажа у виробництві гуми), допоміжного технологічного матеріалу (пилоподібне паливо), проміжного чи кінцевого продукту (борошно, цукрова пудра), побічного продукту чи відходів виробництва (борошняний, тютюновий, деревний пил).

Апарати та машини для обробки твердих горючих матеріалів є відкритими (верстати для обробки деревини, дробарки, ткацькі верстати, зерносушарки), мають повітряний простір (млини), дія багатьох установок пов'язана з використанням повітряних потоків (пневматичні системи транспортування, сепаратори), чи з падінням подрібненої продукції з висоти (самопливні труби, місця пересипання з одного транспортера на інший, вузли завантаження і вивантаження подрібненої продукції тощо). Тобто, при обробці твердих горючих матеріалів, горюче середовище в більшості випадків існує і для виникнення пожежі необхідне лише джерело запалювання.

Залежно від швидкості руху газового середовища в технологічному обладнанні пил може знаходитися в завислому (аерозоль) чи осілому (аерогель) станах. Пожежна небезпека в такому випадку залежить від стану пилу: осілий пил може жевріти і горіти, звихрений пил може утворювати з повітрям вибухонебезпечні суміші.

Наявність джерела запалювання, наприклад, іскри від ударів металевих частин, призводить до виникнення осередків тління, від яких спалахує і пил, що перебуває в завислому стані. Місцевий спалах може викликати звихрення пилу у великому об'ємі і стати причиною наступного вибуху великої руйнівної сили.

Осілий пил нагромаджується у апаратах та машинах, в застійних ділянках, глухих кутах, на дефектах поверхні, у місцях різкої зміни діаметрів тощо. Нагромадженню осілого пилу сприяє збільшення вологості повітря та конденсація вологи на стінках апаратів і трубопроводів.

Для оцінки вибухонебезпечності суміші завислого пилу з повітрям найбільш важливе значення має нижня концентраційна межа поширення полум'я, оскільки, величина верхньої межі дуже висока і практично недосяжна. Отже, в апаратах з горючим пилом умовою виникнення вибухонебезпечної концентрації всередині апарата буде співвідношення:

$$\varphi_0 \geq \varphi_n,$$

де:  $\varphi_0$  – дійсна концентрація пилу, г/м<sup>3</sup>.

Дійсну концентрацію пилу в апараті визначають за сумарною кількістю як завислого, так і осілого пилу, що може за певних умов переходити в завислий стан:  $\varphi_{oc} = \varphi_{зв} + \varphi_{ос}$ ,

де  $\varphi_{ос}$  – концентрація завислого горючого пилу в апараті, кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi_{ос}$  – концентрація осілого горючого пилу в апараті, що може перейти у завислий стан, г/м<sup>3</sup>, визначається за формулами:

$$\varphi_{ос} = \frac{I_{взд} \cdot \tau}{V_B} \quad \text{або} \quad \varphi_{ос} = \frac{m_{ос}}{V_B},$$

де  $I_{вд}$  – інтенсивність утворення відкладень пилю, кг/год;  $\tau$  – тривалість роботи апарата, год;  $V_{в}$  – вільний об'єм апарата, м<sup>3</sup>;  $m_{ос.}$  – маса осілого пилю в апараті, кг.

Вибухобезпечні умови експлуатації апаратів з горючим пилом визначають зі співвідношення:  $\varphi_{без.} \leq \frac{\varphi_{п.}}{K_{б.}}$ ,

де:  $K_{б.}$  – коефіцієнт безпеки (запасу надійності),  $K_{б.} \geq 2$ .

**Заходи для запобігання утворенню горючого середовища в апаратах з пилом та волокнами:**

- підтримання гранично допустимої концентрації горючого пилю в апаратах у межах:  $\varphi_{п.без.} \leq \frac{\varphi_{п.}}{K_{б.}}$

- застосування менш пилоутворювальних процесів подрібнення (вібраційне розмелювання; подрібнення зі зволоженням);

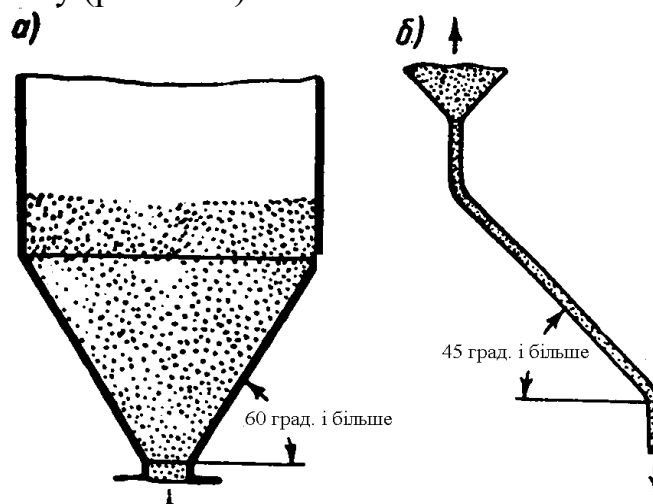
- введення негорючих газів всередину апаратів протягом всього періоду роботи або в найбільш небезпечні моменти (наприклад, в періоди пуску та зупинки млинів) або додавання до пожежонебезпечного пилю мінеральних речовин (наприклад, крейди);

- встановлення систем місцевої витяжки пилю від апаратів;

- застосування негорючих газів для пневматичного транспортування найбільш небезпечного пилю;

- встановлення оптимальної швидкості повітря чи негорючого газу і систематичного контролю її величини при пневматичному транспортуванні подрібнених матеріалів для запобігання осіданню пилю;

- конструктивне виконання апаратів і трубопроводів, що забезпечує мінімальне нагромадження осілого пилю, зокрема, гладко оброблені внутрішні поверхні апаратів та трубопроводів; плавні повороти апаратів і трубопроводів; плавне з'єднання поверхонь апаратів, плавні переходи діаметрів, нахил конусної частини апаратів не менше 60°, а самопливних трубопроводів не менше 45° до горизонту (рис. 3.10).



**Рисунок 3.10** – Допустимі нахили стінок апаратів з порошковим матеріалом: а – конусної частини апаратів і труб; б – самопливних труб



- використання вібраційних пристроїв, які запобігають утворенню пробок пилу в бункерах та трубопроводах;
- захист стінок апаратів і трубопроводів від зволоження, запобігання утворенню конденсату.

Досягається розташуванням апаратів в опалюваних приміщеннях, підігріванням середовища чи апаратів і теплоізоляцією при розташуванні апаратів на відкритих майданчиках чи у неопалюваних приміщеннях.

### **Горюче середовище в період пуску та зупинки апаратів**

Аварійні ситуації, що супроводжуються вибухами та пожежами, часто виникають у період зупинки технологічних апаратів та установок на профілактичний огляд та ремонт, а також під час виведення їх на режим.

Горюче середовище може утворюватися при пуску та зупинці технологічних апаратів і установок як у внутрішньому об'ємі обладнання, так і в приміщеннях та на відкритих майданчиках.

Основними причинами утворення вибухонебезпечних концентрацій в апаратах та трубопроводах при їх зупинці є:

- неповне вилучення з апарата горючих рідин (з їх нижньої частини, тарілок ректифікаційної колони, насадок тощо);
- відсутність або недостатнє продування водяною парою або інертним газом, недостатнє промивання водою або погане вентилявання повітрям внутрішнього простору від парів рідин та газів, що залишилися;
- негерметичне від'єднання трубопроводів від апаратів із горючими рідинами та газами.

Якщо апарати від'єднуються тільки перекриттям засувки на трубопроводах, то це не гарантує повної герметичності, оскільки під час експлуатації робочі частини засувки (клапани, тарілки тощо) зношуються, деформуються. Все це призводить до того, що в закритому стані такі засувки здатні пропускати рідину, гази та пари. Просочуючись через засувки і поступово нагромаджуючись, вони можуть утворювати вибухонебезпечні концентрації навіть у цілком спорожнених та продутих апаратах і трубопроводах.

Особливо небезпечними є ручні операції, оскільки помилкові рішення, недостатній або запізнений контроль обслуговуючого персоналу можуть призвести до небезпечних ситуацій.

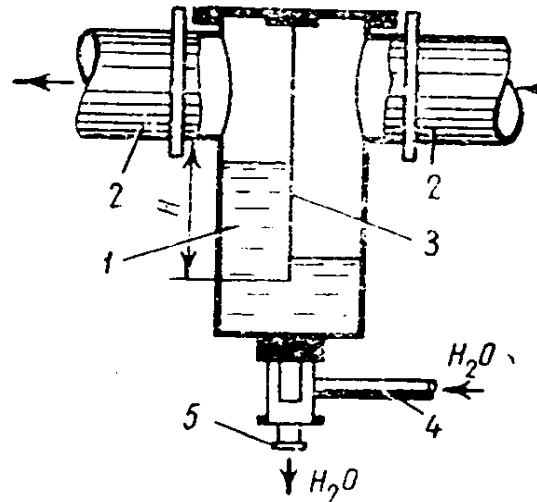
**Заходи для запобігання утворенню горючого середовища в період пуску та зупинки технологічного обладнання:**

- Повне вилучення з апаратів та трубопроводів горючих рідин і горючих газів. Для повного зливу рідин зливний трубопровід приєднують до найнижчої точки апарата. Якщо конструкція апарата не забезпечує повного зливу рідини, то застосовують промивання водою.

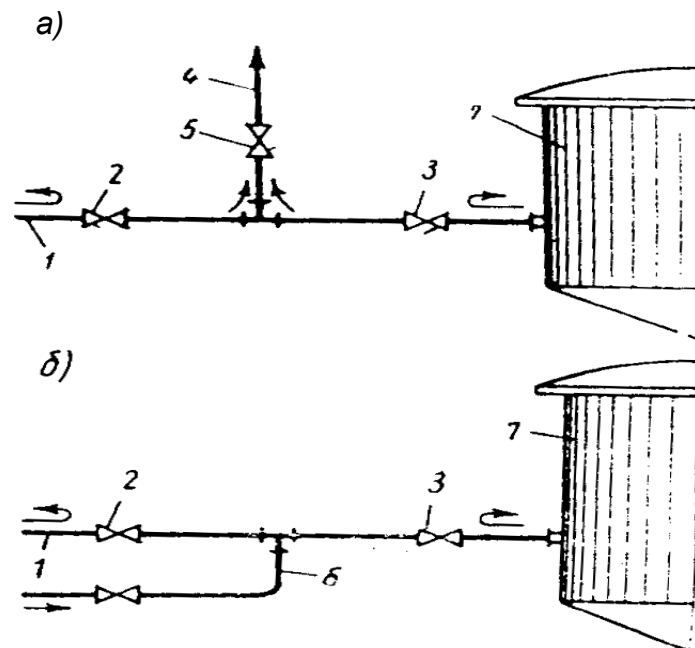
- Надійне відключення апаратів і трубопроводів від працюючих систем, яке досягається шляхом:

- повного роз'єднання ліній;

- встановленням між фланцями трубопроводів заглушок (як правило, застосовують металеві заглушки з хвостовиком, місця установки заглушок вказуються в документах, що оформляються на період зупинки апаратів);
- застосуванням гідравлічних затворів-від'єднувачів (на газопроводах низького тиску) (рис. 3.11);
- встановленням на лініях двох близько одна до одної розташованих засувок з відвідною трубкою між ними та подачею між засувками інертного газу або водяної пари (рис.3.12);

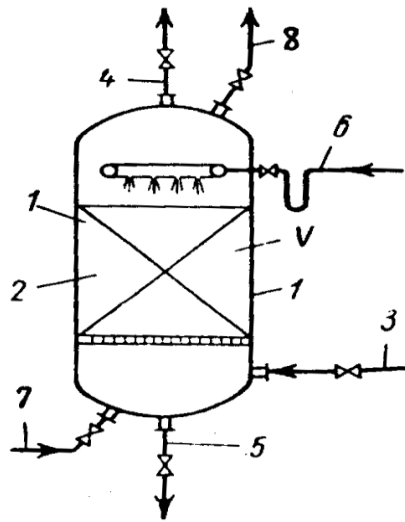


**Рисунок 3.11** – Гідравлічний затвор-від'єднувач на газовій лінії:  
 1 – корпус; 2 – газові лінії; 3 – перегородка; 4, 5 – лінії подачі і випускання води;  $H$  – максимальна висота водяного затвору



**Рисунок 3.12** – Способи герметичного від'єднання ліній від апаратів:  
 а – двома вентилями з відкритою трубкою в атмосферу; б – двома вентилями з підведенням водяної пари між ними; 1 – трубопровід з продуктами; 2, 3, 5 – засувки; 4 – відвідна труба; 6 – лінія водяної пари; 7 – апарат

- Правильне розкриття апарата (на вертикальних апаратах люки відчиняють згори донизу).
- Продування апаратів від залишків рідин та газів водяною парою або негорючими газами (рис. 3.13).



**Рисунок 3.13** – Продування абсорбера від залишку горючої речовини:

1 – корпус апарата; 2 – насадка; 3, 4, 5, 6 – виробничі трубопроводи; 7 – лінія інертного газу на продування апарата; 8 – продувна свіча

Найчастіше продування здійснюється водяною парою. Висока температура пари сприяє випаровуванню залишків рідини, що знаходиться в апараті. Час продування апаратів і трубопроводів негорючими газами залежить від багатьох чинників, із яких найбільш істотними є: внутрішній об'єм апарата, кількість горючих залишків в апараті та їх леткість, розміри ліній подачі газу на продування і відводу суміші, тиск продувального газу тощо.

Кількість водяної пари або інертного газу, необхідних для флегматизації горючої суміші в апараті, визначається з виразу:  $V_{\phi} = \varphi_{\text{фл.без}} \cdot V_{\text{в}}$ ,

де  $V_{\phi}$  – кількість інертного газу, що подається в апарат,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{в}}$  – вільний об'єм апарата, що заповнений парогазоповітряною сумішшю,  $\text{м}^3$ ;  $\varphi_{\text{фл.без}}$  – гранично допустима вибухобезпечна концентрація флегматизатора, визначається за формулою:

$$\varphi_{\text{фл.без}} = K_{\text{без.ф}} \cdot \varphi_{\text{ф}}$$

де  $K_{\text{без.ф}}$  – коефіцієнт безпеки. При  $\varphi_{\text{ф}} > 0,15$  об.частки  $K_{\text{без.ф}} = 1,2$ ; при  $\varphi_{\text{ф}} > 0,15$  об.частки  $K_{\text{без.ф}} = 1,5$ ;  $\varphi_{\text{ф}}$  – мінімальна концентрація флегматизатора, об.частки, яка визначається розрахунково.

Продування вважається закінченим, якщо в суміші, що відходить, концентрація горючих газів або парів буде не більшою від встановленої норми, яка у кожному конкретному випадку може бути різною, але завжди меншою від нижньої межі поширення полум'я, тобто:

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

Порядок відключення та продування апаратів від горючих газів і парів записується в цехову технологічну інструкцію.

- Після закінчення продування приступають до відкривання апарата. На вертикальних апаратах люки відчиняють зверху вниз. Після цього апарат із відкритими люками залишають вентилюватися і прохолоджуватися. Якщо всередині апарата будуть проводитися вогневі роботи, то перед цим із різних точок треба взяти пробу повітря.

- Продувні свічі виводяться за межі виробничого приміщення (приблизно на 2 м вище від гребеня даху) або приєднуються до загальної лінії для вловлювання газів і парів із метою подальшої утилізації (див. рис. 3.19).

Аналогічно, як і при зупинці, проводиться продування апаратів та трубопроводів від повітря при пуску їх в експлуатацію. Продування проводиться найчастіше водяною парою або негорючими газами і лише у виняткових випадках припускається витіснення повітря горючим газом (ацетиленові генератори). В цьому випадку продувні свічі захищають вогнеперешкоджувачами.

Таким чином, умови утворення вибухонебезпечних концентрацій при експлуатації технологічного обладнання залежать не тільки від вибухопожежонебезпечних властивостей та агрегатного стану горючих речовин, а також і від конструктивних особливостей та режиму роботи обладнання, що необхідно враховувати при розробці пожежно-профілактичних заходів.

### **3.2. Горюче середовище при виході речовин з працюючих апаратів**

Після оцінки вибухопожежонебезпеки середовища всередині технологічного обладнання необхідно встановити, при експлуатації яких апаратів можливий вихід горючих речовин назовні з утворенням горючого середовища. Горючі гази, пари і рідини виходять з апаратів і трубопроводів не тільки при пошкодженнях та аваріях, але і при нормальній експлуатації апаратів, які мають свої конструктивні особливості, зокрема, апаратів з відкритою поверхнею випаровування, апаратів з дихальними пристроями, апаратів періодичної дії. Невеличкі витікання відбуваються навіть з герметично закритих апаратів, що працюють під підвищеним тиском, через нещільності в прокладках, сальниках, зварних швах. При їх експлуатації біля місць виходу парів і газів у виробничих приміщеннях та на відкритих майданчиках можуть утворюватись вибухопожежонебезпечні концентрації. Розглянемо детально умови їх утворення.

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

До апаратів з відкритою поверхнею випаровування відносять фарбувальні ванни, ванни для просочування тканин і паперу розчиненими смолами, для промивання розчинниками та сушіння деталей, відкриті резервуари для зберігання рідин. Випаровування з відкритої поверхні відбувається і у випадку розливання рідини при аварії апаратів і трубопроводів.

Розміри вибухопожежонебезпечних зон визначаються властивостями речовин, що обертаються в технологічному процесі, кількістю, яка може виходити назовні за певний проміжок часу, умовами викиду, розтікання та розсіювання у навколишньому середовищі, температурними умовами випаровування, площею поверхні випаровування, часом випаровування, а також рухливістю повітря.

Горюча концентрація пароповітряної суміші над відкритою поверхнею пожежонебезпечних рідин утворюється за умови:

$$t_p \geq t_{cn},$$

де  $t_p$  – робоча температура рідини, °C;  $t_{cn}$  – температура спалаху рідини, °C, або за умови:

$$\varphi_p \geq \varphi_n,$$

де  $\varphi_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я, %;  $\varphi_p$  – фактична (робоча) концентрація горючої речовини, %.

Для аналізу пожежної небезпеки має значення вид випаровування рідини. Розрізняють випаровування у нерухоме середовище (молекулярна дифузія) та в рухоме середовище (конвективна дифузія).

При випаровуванні в нерухоме середовище розсіювання парів ускладнене, створюються більш сприятливі умови для нагромадження парів у місцях їх виходу з утворенням місцевих пожежонебезпечних концентрацій. Кількість рідини ( $m_n$ ), що випаровується з відкритої поверхні у нерухоме середовище за час  $\tau$ , визначається за формулою:

$$m_n = 1,155 \cdot \varphi_s \cdot \rho_t \cdot F_B \cdot \sqrt{\frac{D_t \cdot \tau}{1 - \varphi_s}},$$

де  $m_n$  – маса рідини, що випаровується з відкритої поверхні в нерухоме середовище, кг;  $\rho_t$  – густина парів рідини при робочій температурі,  $кг/м^3$ ;  $F_B$  – площа поверхні випаровування,  $м^2$ ;  $D_t$  – коефіцієнт дифузії парів при робочій температурі,  $м^2/с$ .

Величину коефіцієнта дифузії парів або газу при робочій температурі  $t_p$  визначають за формулою:

$$D_t = D_o \left( \frac{t + 273}{273} \right)^n,$$

де  $D_o$  – значення коефіцієнта дифузії за нормальних умов ( $T_o=273K$ ,  $P_o=1 \cdot 10^5$  Па),  $м^2/с$ ;  $n$  – показник степеня, що залежить від фізико-хімічних властивостей речовини.

При випаровуванні у рухоме середовище маса переходить із однієї фази в іншу не тільки внаслідок молекулярного руху, але і в результаті руху повітря, а також більш інтенсивного теплообміну. Завдяки цьому збільшується кількість рідини, що випаровується. У такому випадку над поверхнею рідини утворюється невеликий приграничний прошарок із насиченою концентрацією пари, потім відбувається різкий перепад концентрації. В прошарках, розташованих вище від приграничного прошарку (внаслідок інтенсивного перемішування середовища при русі), концентрація пари буде приблизно однаковою.

Кількість рідини, що випаровується у рухоме середовище  $m_p$  за час  $\tau$ :

$$m_p = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_s \cdot F \cdot \tau,$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, що залежить від температури та швидкості руху повітря,  $M$  – молекулярна маса речовини, г/моль.

Діаметр зони вибухонебезпечної концентрації парів, що утворюється при випаровуванні з відкритої поверхні, визначається за формулою:

$$D_z = 6,3\sqrt{K} \left( \frac{P_s}{\varphi_n} \right)^{0,813} \left( \frac{m_e}{\rho_n \cdot P_s} \right)^{0,333}$$

де:  $K$  – константа випаровування, яка визначається як  $K = \tau_{\text{вип}} / 3600$ ;

$P_s$  – тиск насичених парів при робочій температурі, кПа;  $\rho_n$  – густина парів при робочій температурі, кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я, об.частки.

### **Заходи для запобігання утворенню горючого середовища при експлуатації апаратів з відкритою поверхнею випаровування:**

- Проектування (або заміна) технологічних схем таким чином, щоб весь процес, у тому числі завантаження і розвантаження матеріалу, здійснювався ізольовано від навколишнього середовища (апарати з відкритою поверхнею випаровування у всіх випадках, де це можливо за технологією, повинні замінитися закритими).

- Заміна ЛЗР негорючими або менш пожежонебезпечними рідинами.

Нариклад, використання в процесах миття та знежирення вузлів і деталей, лужних та синтетичних миючих засобів, хлористого метилену, трихлоретилену, а також застосування ультразвукового методу знежирення і очистки тощо.

- Вибір найбільш раціональної форми відкритого апарата, що дає можливість створити мінімальну величину поверхні випаровування.

- Встановлення систем витяжки та вловлювання парів рідини, що вилучаються при випаровуванні, безпосередньо біля апаратів.

- Наявність спеціальних пристроїв захисту на випадок пожежі (кришки для закривання апаратів, аварійний злив рідини, локальна установка пожежогасіння).

- Підтримання робочої температури рідини нижчою за температуру її спалаху:  $t_{p.без} \leq t_{cn} - 35^{\circ}C$ .

### Апарати з «дихальними» пристроями

У багатьох технологічних процесах застосовують апарати, у яких в процесі роботи змінюється рівень рідини, зокрема, резервуари, мірники, дозатори, баки тощо. Нормальна експлуатація таких апаратів потребує сполучення їх з атмосферою за допомогою «дихальних» пристроїв («дихальних» труб, відкритих люків, клапанів).

Пожежна небезпека апаратів з «дихальними» пристроями зумовлюється кількістю парів горючої рідини, що виходить в атмосферу або в приміщення через «дихальні» клапани або відкриті люки в результаті так званих малих та великих «дихань».

**Велике «дихання»** – витіснення парів рідини назовні або підсмоктування повітря всередину апаратів при зміні в ньому рівня рідини.

**Мале «дихання»** – витіснення парів назовні або підсмоктування повітря всередину апарата при зміні температури в його газовому просторі під впливом зміни температури середовища.

Вибухобезпечні умови експлуатації апаратів, що «дихають», визначаються зі співвідношення:

$$\varphi_{p, без} \leq 0,9 (\varphi_n - 0,0021),$$

оскільки в процесі експлуатації при зниженні рівня продукту або температури навколишнього середовища в апарати через «дихальні» пристрої надходить повітря, яке розбавляє «багаті» суміші з  $\varphi_p > \varphi_v$  та приводить до утворення вибухонебезпечних концентрацій.

Потрапляння повітря в апарат при «диханні» може призвести до розбавлення багаті суміші парів до вибухонебезпечних концентрацій.

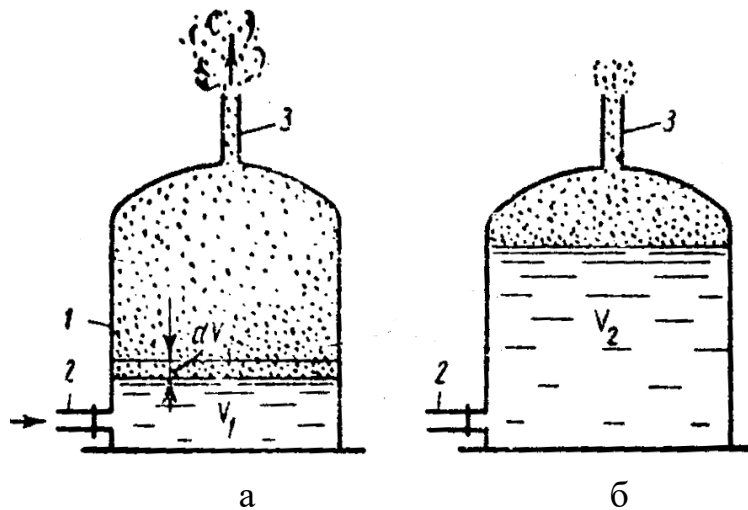
При малих та великих «диханнях» може утворюватися горюча пароповітряна суміш біля «дихальних» пристроїв, якщо температура рідини дорівнює або більша за величину нижньої температурної межі поширення полум'я:  $t_p \geq t_{нтмрп}$ .

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, їх властивостей, конструкції ємності та її «дихального пристрою», а також від стану навколишнього середовища (в основному від швидкості руху та вертикального розподілу температури повітря).

Кількість парів горючої рідини, що виділяються з апаратів при «диханні», можна визначити розрахунком, якщо прийняти, що концентрація парів рідини при цій температурі у всіх точках пароповітряного простору ємності або апарата однакова і дорівнює концентрації насичених парів.

Нехай в апараті з «дихальним» пристроєм знаходиться легкозаймиста рідина, рівень та температура якої змінюються (рис.3.14).



**Рисунок 3.14** – «Дихання» резервуара з вогнебезпечною рідиною:  
 а – початок «дихання»; б – кінець «дихання»;  
 1 – корпус резервуара; 2 – наповнювальна лінія; 3 – «дихальна» лінія

Припустимо, що об'єм  $V$  газового простору змінюється від  $V_1$  до  $V_2$ , температура – від  $T_1$  до  $T_2$ , тиск – від  $P_1$  до  $P_2$ , молярна концентрація парів – від  $\varphi_1$  до  $\varphi_2$ , концентрація повітря – від  $(1-\varphi_1)$  до  $(1-\varphi_2)$ . Кількість парів, що витісняються –  $G_{\text{п}}$ , можна визначити знаючи об'єм витісненого повітря та концентрацію парів в ньому.

З рівняння газового стану  $PV=GRT$  визначають кількість повітря в апараті:  $G = \frac{PV}{RT}(1-\varphi)$ ,

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,  $R = \frac{8314,31 \text{ Дж}}{M_n \text{ кмоль} \cdot \text{К}}$ ;  $(1-\varphi)$  – молярна концентрація повітря в апараті, кг/м<sup>3</sup>.

Тоді кількість повітря в апараті до початку процесу визначається з рівняння:  $P_1 V_1 (1-\varphi_1) = G_1 R T_1$  за формулою:  $G_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} (1-\varphi_1)$ , і, відповідно, кількість повітря в кінці процесу визначається з рівняння:  $P_2 V_2 (1-\varphi_2) = G_2 R T_2$  за формулою:  $G_2 = \frac{P_2 V_2}{R_2 T_2} (1-\varphi_2)$ .

Тоді маса витісненого з апарата повітря дорівнює

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

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:  
 $G_{\Pi} / G = V_{\Pi} / V = (1 - \bar{\varphi}) / \bar{\varphi}$ .

Враховуючи також, що маса парів та газів в однаковому об'ємі пропорційна їхнім молекулярним масам  $M$ , отримаємо відношення маси повітря та парів у суміші, що витісняється:  $\frac{G_n}{G} = \frac{1 - \bar{\varphi}}{\bar{\varphi}} \frac{M_n}{M}$ , звідки:

$G = G_n \frac{\bar{\varphi}}{1 - \bar{\varphi}} \frac{M}{M_n}$ . Підставляючи масу витісненого з апарата повітря в останнє

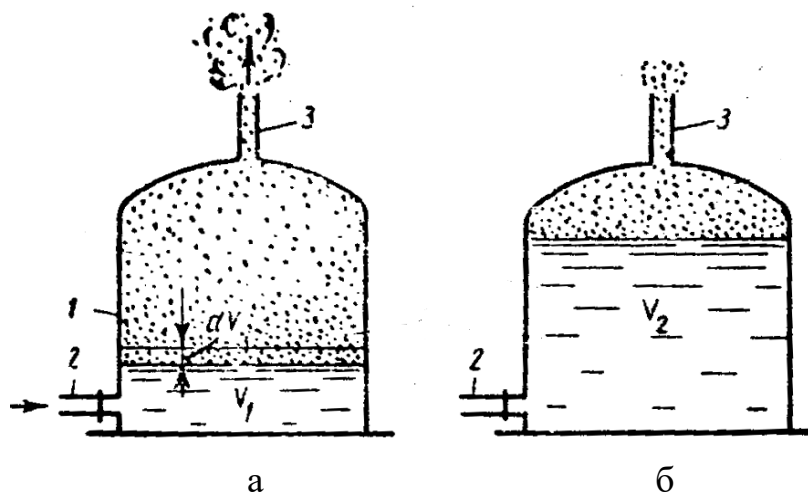
рівняння, знаходимо масу парів, що витісняються з апарата при зміні умов середовища:

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

Враховуючи значення газової сталої повітря, після відповідних перетворень одержимо формулу для визначення кількості парів горючої рідини, що витісняється з апаратів:

$$G = \left[ V_1 (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{T_1} - V_2 (1 - \varphi_2) \frac{P_2}{T_2} \right] \frac{\bar{\varphi}}{1 - \bar{\varphi}} \cdot \frac{M}{8314,31}$$

При великому «диханні» ( $V_1 \neq V_2$ ;  $P_1 = P_2 = P_p$ ;  $T_1 = T_2 = T_p$ ;  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_s$ ) (рис. 3.15)

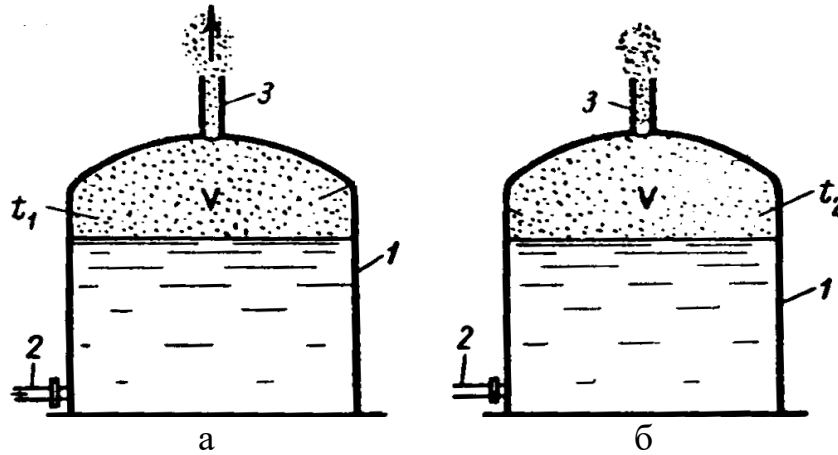


**Рисунок 3.15** – Велике «дихання» резервуара з пожежонебезпечною рідиною:  
 а – початок «дихання»; б – кінець «дихання»;  
 1 – корпус резервуара; 2 – наповнювальна лінія; 3 – «дихальна» лінія

Кількість парів горючої рідини, що витісняються з апаратів при великому «диханні», визначається за формулою:

$$G_g = (V_1 - V_2) \frac{P_p}{T_p} \varphi_s \frac{M}{8314,31}, \text{ [кг/цикл]}$$

При малому «диханні» рівень рідини не змінюється (рис.3.16), а, отже, і об'єм пароповітряного простору  $V$  залишається незмінним, тоді  $V_1 = V_2 = V$ .



**Рисунок 3.16** – Мале «дихання» резервуара з пожежонебезпечною рідиною:  
а – початок «дихання»; б – кінець «дихання»; 1 – корпус резервуара;  
2 – наповнювальна лінія; 3 – «дихальна» лінія

Тиск в ємності  $P_p$  також залишається незмінним, тому що надлишок пароповітряної суміші, що утворюється при її розширенні від нагрівання, вилучається через «дихальну» систему. Якщо за весь час малого «дихання» температура рівномірно змінюється від  $t_1$  до  $t_2$ , то 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 витісняються з апарата при зміні температури середовища у газовому просторі (при малому «диханні»), можна визначити за формулою:

$$G_m = V \cdot P_p \cdot \left( \frac{1 - \varphi_1}{T_1} - \frac{1 - \varphi_2}{T_2} \right) \cdot \frac{\bar{\varphi}}{1 - \bar{\varphi}} \cdot \frac{M}{8314,31}, \text{ [кг/цикл]}$$

Залежно від режиму роботи апаратів із «дихальними» пристроями, основна частка втрат може припадати на великі або малі «дихання». Масу парів, що витісняються у виробниче приміщення або на відкритий майданчик з «дихальних» апаратів визначають за формулою

$$m_n = \frac{G_i \cdot N \cdot \tau}{3600},$$

де  $m_n$  – маса парів, що надходять у приміщення з апарата, кг;  $G_i$  – кількість парів, що надходять у приміщення (за один цикл великого або малого

«дихання»), кг/цикл;  $N$  – кількість циклів (операцій) на протязі 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 при значній концентрації в ній горючих парів. Приблизний об'єм зони вибухонебезпечних концентрацій (ВНК) поблизу «дихальних» патрубків можна визначити за формулою:

$$V_{ВНК} = \frac{m}{\varphi_n} \cdot K_{\sigma},$$

де  $V_{ВНК}$  – об'єм місцевої зони ВНК, м<sup>3</sup>;  $\varphi_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я, г/м<sup>3</sup>;  $m$  – сумарна маса горючих речовин, що надходять до приміщення з апаратів, г;  $K_{\sigma}$  – коефіцієнт безпеки (запасу надійності).

Діаметр зони вибухопожежонебезпечної концентрації парів, що утворюється навколо апарата при його заповненні, визначається за формулою:

$$D_z = D_{an} + 10H_{an} \left( \frac{g \cdot \varphi_s}{\varphi_n \cdot H_{an}^2} \right)^{0,86},$$

де  $g$  – продуктивність операцій наповнення, м<sup>3</sup>/с;  $D_{an}$  – діаметр апарата, м<sup>3</sup>;  $H_{an}$  – висота апарата, м;  $\varphi_s$  – фактична об'ємна концентрація парів при робочій температурі, %;  $\varphi_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я, %.

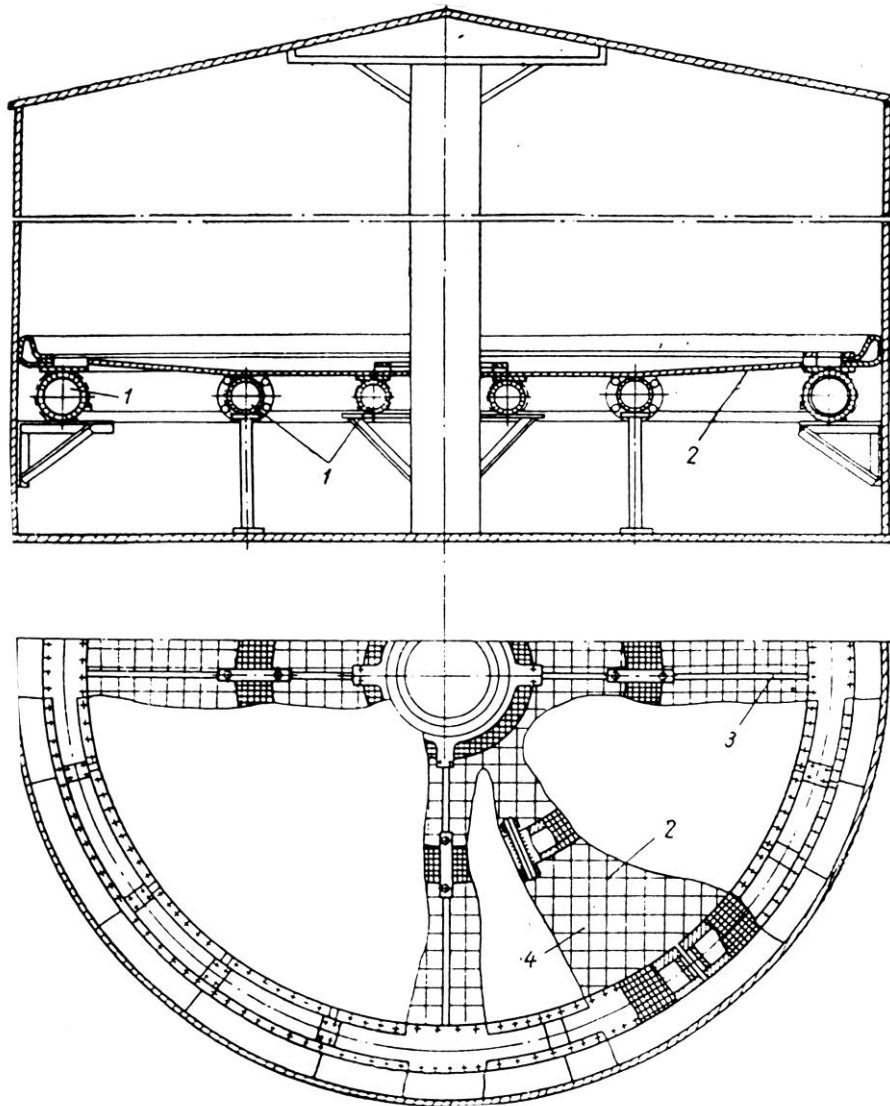
Найбільш пожежонебезпечними апаратами з дихальними пристроями є резервуари нафтопромислів, резервуари нафтопроводів, резервуари змішування бензинів на нафтопереробних заводах, експлуатація яких супроводжується великою загазованістю території. Найбільш небезпечними технологічними режимами є заповнення резервуарів нафтопродуктами, що легко випаровуються; наповнення резервуарів гарячими нафтопродуктами або нафтою, що містить велику кількість газу. Максимальний горизонтальний розмір небезпечної зони поблизу підземного залізобетонного резервуара, з врахуванням швидкості вітру (менше 1 м/с), можна визначити за формулою:

$$x = 10(1,5V_n \frac{\varphi_n}{\varphi_n})^{\frac{2}{3}}$$

де  $x$  – розмір (радіус) вибухопожежонебезпечної зони;  $V_n$  – витрата суміші через дихальний клапан;  $\varphi_n$  – початкова концентрація парів в суміші;  $\varphi_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я.

### **Заходи для запобігання утворенню горючого середовища при експлуатації апаратів з «дихальними» пристроями:**

- Ліквідація пароповітряного простору у резервуарах шляхом застосування резервуарів із понтоном (рис. 3.17) або з плаваючою покрівлею. Втрати від випаровування у таких резервуарів скорочуються до 90–95 %. Якщо  $V_1 = V_2 = V = 0$ , тоді  $G_M = 0$  і  $G_B = 0$ .



**Рисунок 3.17** – Резервуар з плаваючим понтоном із труб:

1 – концентричні кільця із труб; 2 – алюмінієва сітка; 3 – радіальна тяга;  
4 – плівка

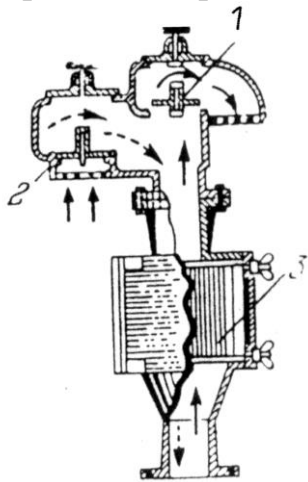
- Забезпечення сталості об'єму газового простору. Якщо  $V_1 = V_2 \neq 0$ , тоді  $V_2 - V_1 = 0$ ,  $G_B = 0$ . За допомогою газозрівнювальної обв'язки двох або більше резервуарів з однаковими рідинами за умов синхронізації операцій спорожнення або наповнення обв'язаних резервуарів (див. рис. 3.9).

- Здійснення термоізоляції резервуарів. У такому випадку  $T_1 = T_2$ ,  $\varphi_1 = \varphi_2$  і  $G_M = 0$ . Для цього використовують підземні резервуари, теплоізолюють поверхні.

- Фарбування резервуарів білими (сріблястими) фарбами для запобігання дії сонячного проміння. Такі фарби майже в два рази знижують втрати порівняно з чорною фарбою.

- Зрошування резервуарів водою за допомогою розпилювачів. Охолодження дахів та стінок резервуарів у місцевостях із жарким кліматом з допомогою спеціальних розпилювачів, які монтується на даху резервуарів, призводить до зменшення втрат у два рази.

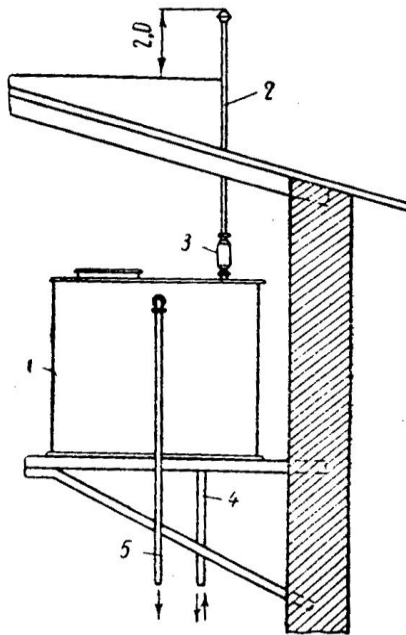
- Влаштування систем вловлювання та утилізації парів. Застосування сорбційних процесів, холодильних та компресорних установок.



- Герметизація газового простору резервуарів «дихальними» клапанами (рис. 3.18). Це дає можливість зменшити втрати від великих «дихань», різко знизити втрати від малих «дихань» і навіть ліквідувати їх зовсім.

**Рисунок 3.18** – «Дихальний» клапан:  
1 – тисковий клапан; 2 – вакуумний клапан, 3 – вогнеперешкоджувач

- Виведення «дихальних» труб за межі приміщення. При розташуванні «дихальних» апаратів в приміщеннях «дихальні» труби виводяться за його межі або приєднуються до загальноцехової системи вловлення парів.



При розташуванні «дихальних» апаратів в приміщеннях «дихальні» труби виводяться за його межі або приєднуються до загальноцехової системи вловлення парів. Вивід здійснюється на 2 метри вище від рівня покрівлі і захищається вогнеперешкоджувачами для запобігання можливому проникненню полум'я всередину апарата при спалахуванні парів від зовнішніх джерел запалювання (рис. 3.19). За наявності декількох резервуарів «дихальні» лінії об'єднують в єдину магістраль.

**Рисунок 3.19** – Напірний бак з «дихальною» трубою: 1 – резервуар з ЛЗР; 2 – «дихальна» лінія; 3 – вогнеперешкоджувач; 4 – наповнювальна і витратна лінії; 5 – переливна труба

### Апарати періодичної дії

До апаратів періодичної дії відносяться змішувачі, розчинники синтетичних смол та інших речовин, клейомішалки, екстрактори тощо. При всіх інших однакових умовах апарати періодичної дії мають набагато більшу пожежну небезпеку в порівнянні з апаратами безперервної дії. Через нестабільність параметрів періодичні процеси недостатньо механізовані та автоматизовані, що в багатьох випадках ускладнює забезпечення необхідної безпеки та вибухозахисту.

Апарати періодичної дії перед початком робочого циклу завантажуються речовинами, у процесі роботи виникає необхідність брати проби оброблюваних речовин на аналіз, а по закінченні процесу апарат повинен розвантажуватися. 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 майданчиках горючого середовища.

Типовим апаратом періодичної дії є змішувач, який використовується для приготування гумового клею. Розвантаження готової маси здійснюється перекиданням апарата при відкритій кришці. Відкривання кришки змішувача призводить до виходу парів ЛЗР назовні, утворенню місцевих небезпечних концентрацій поблизу апарата, а також і всередині його при надходженні туди повітря.

Пожежна небезпека таких апаратів зумовлюється 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 залежно від характеру операції, що виконується. Так, операція завантаження апаратів супроводжується витісненням 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 пристрою для завантаження – розвантаження продукту, визначається виходячи з того, що об'єм пароповітряного простору апарата перед завантаженням не змінюється (тобто  $V_1 = V_2 = V_0$ ), тиск під час відкривання кришки буде змінюватись від  $P_p$  до  $P_{ATM}$ , 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:

$$G_p = V_0 \cdot \frac{\varphi_s}{T_p} \cdot (P_p - P_{бар}) \cdot \frac{M}{M_n} \cdot \frac{1}{R},$$

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

$V_0$  – внутрішній вільний об'єм апарата, заповнений паром або газом під

тиском,  $m^3$ ;  $\varphi_s$  – концентрація насичених парів, об. частки, % об;  $P_p$  – робочий

тиск в апараті, Па;  $P_{бар}$  – атмосферний (барометричний) тиск, 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 супроводжується виходом парів або газів, кількість яких можна визначити, припускаючи, що відбувається випаровування з вільної поверхні в нерухоме та рухоме середовища.

Процес завантаження горючих речовин в апарати супроводжується витісненням назовні певної кількості газоповітряної суміші. Кількість парів, що виходять, можна визначити як для апаратів, де можливі втрати при великих «диханнях».

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

### **Заходи із запобігання утворенню горючого середовища при експлуатації апаратів періодичної дії:**

- Замінити періодично діючі апарати, якщо це можливо за умовами технологічного процесу, герметичними апаратами безперервної дії.
- Герметизувати завантажувальні та розвантажувальні пристрої. Розвантаження апаратів від готової продукції доцільно здійснювати не відкритим способом, а розвантажувальними трубами у приймальні бункери або в закриту тару.
- Апарати з відкритим завантаженням та вивантаженням необхідно обладнати системою витяжки парів і газів із його внутрішнього об'єму з подальшим заповненням вакууму подачею інертного газу.
- Захищати внутрішній об'єм апарата інертним газом протягом всього періоду роботи.
- Місця виходу парів та газів (кришки, що відчиняються, люки для відбору проб тощо) обладнати місцевими витяжними пристроями.
- При зупинці апаратів на тривалий період зачищати їх від залишків продукту, продувати інертним газом або заповнювати водою.

Біля місць розташування періодично діючих апаратів (особливо з відкритим розвантаженням і завантаженням) повинні знаходитись стаціонарні установки пожежогасіння локальної дії.

### **Апарати, що працюють під тиском**

При експлуатації закритих апаратів, що знаходяться під тиском, навіть при їх справному стані завжди є вихід горючих речовин через прокладки, шви, рознімні з'єднання тощо. Це пояснюється тим, що навіть при найбільш точній обробці не можливо досягти абсолютної непроникності на стику двох поверхонь, оскільки існує велика кількість капілярних каналів, через які відбуватиметься витікання газів та рідин.

Значна пожежна небезпека властива для апаратів, які мають механізми, що рухаються (колеса насосів та компресорів, лопаті мішалок, гвинти шнеків тощо), вали або штоки, що проходять через корпус апарата з відповідними сальниковими ущільненнями. Добитися належної герметизації таких апаратів дуже важко, тому при їх роботі завжди трапляються витіки горючих речовин назовні.

Інтенсивність виходу парів та газів із працюючого під тиском герметичного обладнання через капілярні канали в прокладках, сальниках, зварних швах та інших місцях на апаратах і трубопроводах можна визначити за такою формулою:

$$I_p = K_3 \cdot K_p \cdot V \cdot \sqrt{\frac{M}{T_p}}$$

де  $I_p$  – інтенсивність виходу парів або газів з апарата, що працює під тиском, кг/с;  $K_3$  – коефіцієнт, що враховує ступінь спрацювання обладнання, змінюється в межах від 1 (для нового обладнання) до 2 (для спрацьованого обладнання);  $K_p$  – коефіцієнт, що залежить від тиску середовища в апараті, довідкові дані;  $V_e$  – внутрішній вільний об'єм обладнання, заповнений паром або газом під тиском, м<sup>3</sup>.

Таким чином, інтенсивність виходу парів або газів з апаратів в основному буде залежати від його режиму роботи та стану з'єднань.

Для визначення маси парів або газів, що виходять з працюючих під тиском герметичних апаратів за певний період роботи обладнання використовують формулу

$$m_p = I_p \cdot \tau,$$

де  $m_p$  – маса парів або газів, що виходять з апаратів, що працюють під тиском, кг;

$I_p$  – інтенсивність виходу парів або газів з апарата, що працює під тиском, кг/с;  $\tau$  – час роботи апарата, с.

Кількість парів або газів, які виходять через сальникові ущільнення поршневого насосів для перекачування горючих рідин у холодному стані, визначається за формулою:

$$G_n = 0,007 d \cdot \tau_p \cdot A \sqrt{P_p}$$

де  $G_n$  – кількість парів рідини, що просочується через сальники насоса, кг/цикл;  $A$  – емпіричний коефіцієнт, який приймається для насосів, що перекачують бензин або гас 1, а для насосів, що перекачують високолеткі рідини – 2;  $P_p$  – робочий тиск насоса, МПа;  $\tau_p$  – час роботи апаратів, год.

Кількість парів або газів, які виходять через сальникові ущільнення відцентрових насосів для перекачування горючих рідин, визначається за формулою:

$$G_n = 1,38 \cdot 10^{-6} \cdot d \cdot \rho_p \cdot \tau_p \sqrt{P_p}$$

де  $\rho_p$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Вихід горючих парів або газів при нормальному герметичному ущільненні апаратів, як правило, не створює реальну пожежну небезпеку завдяки швидкому розсіюванню парів (газів) при наявності повітрообміну. Це враховується при проєктуванні припливно-витяжної вентиляції на об'єктах. Однак у місцях виходу парів та газів можливе утворення локальних пожежонебезпечних концентрацій.

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



- за відсутності повітрообміну в приміщенні:  $\varphi_{\partial} = \frac{m}{V_{\partial}}$ ,
- за наявності повітрообміну в приміщенні:  $\varphi_{\partial} = \frac{3600 \cdot m}{V_{\partial} \cdot A \cdot \tau}$ ,

де  $\varphi_{\partial}$  – дійсна концентрація горючих речовин у приміщенні,  $кг/м^3$ ;  
 $m$  – сумарна маса горючих речовин, що надходять у приміщення з апаратів,  $кг$ ;  
 $A$  – кратність вентиляції,  $год^{-1}$ .

**Заходи для запобігання утворенню горючого середовища при експлуатації апаратів, що перебувають під надлишковим тиском:**

- застосовувати зварювання, пайку, развальцювання, різноманітні склади для нерознімних з'єднань, що склеюють і цементують;
- застосовувати зносостійкі прокладочні матеріали, що легко деформуються (фібру, гуму, азбест, пароніт, синтетичні полімерні матеріали) на різноманітних з'єднаннях;
- застосовувати безсальникові та мембранні насоси і компресори для перекачування ЛЗР та скраплених газів;
- застосовувати насоси із торцевими ущільненнями або сальниковими ущільненнями з протитисненням. У цьому випадку герметичність ущільнень у радіальному напрямку досягається завдяки щільному стику старанно відшліфованих торцевих поверхонь (нерухомої та обертальної) втулок.
- встановлювати системи місцевої витяжки парів біля місць можливого виходу парів та газів, зблокованих із системами пуску агрегатів.

### **3.3. Горюче середовище при пошкодженнях і аваріях технологічних апаратів**

Найбільш небезпечними для виробництва є пошкодження та аварії технологічного обладнання, в результаті яких значна кількість горючих речовин виходить назовні, створюючи високі концентрації парів і газів у приміщенні, загазованість відкритих територій, розлив рідини на великі площі. Наслідки пошкоджень чи аварій залежатимуть від розмірів руйнувань, пожежонебезпечних властивостей речовин, їх температури та тиску.

Якщо в пошкоджених апаратах горючі рідини нагріті вище температури самозаймання, то при виході назовні та контакті з повітрям вони займаються.

Якщо рідина нагріта нижче температури спалаху, то при виході її назовні утворюються вибухонебезпечні концентрації парів і газів з повітрям як місцевих, так і в приміщенні чи на території відкритих майданчиків.

Розробляючи технологічне обладнання враховують процеси, які в ньому відбуваються, у такий спосіб, щоб за нормальних умов експлуатації небезпека не виникала. Однак аварійні ситуації трапляються. Під «аварією» розуміють пошкодження будь-якого апарата, машини під час роботи, руху.

**Аварія** – небезпечна подія техногенного характеру, яка спричинила загибель людей чи створює на об'єкті або території загрозу життю та здоров'ю людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи завдає шкоди довкіллю. У більшості випадків аварії незалежно від їх характеру, є наслідком помилок, допущених на стадіях розробки, проектування, виготовлення, монтажу, експлуатації, обслуговування та ремонту виробничого обладнання.

Аварії на об'єктах (підприємствах) залежно від територіального поширення поділяють на три рівні: А, Б, В.

**На рівні «А»** аварія характеризується розвитком в межах одного структурного підрозділу підприємства;

**На рівні «Б»** аварія характеризується поширенням за межі структурного підрозділу і розвитком в межах території підприємства;

**На рівні «В»** аварія характеризується розвитком і переходом за межі території підприємства, можливістю впливу уражувальних та інших небезпечних чинників аварії на населення розташованих поблизу населених пунктів та на інші підприємства, а також довкілля.

Кожна аварія пов'язана або з локальним пошкодженням технологічного обладнання, або з повним руйнуванням апарата.

Місцевий, тобто локальний, характер пошкоджень – це утворення тріщин, наскрізних отворів від корозії, прогари теплообмінної апаратури тощо. В такому випадку, через утворені отвори і майже під постійним тиском, речовини, у вигляді струменів пари, газу чи рідини, будуть виходити назовні. При повному пошкодженні все, що міститься в апараті, зразу вийде назовні і, крім цього, продовжуватиметься витікання газу чи рідини із з'єднаних з ним трубопроводів.

Для всіх аварій (незалежно від місця і причини) методи визначення витрати і тривалості витікання, кількості речовини, яка вийшла назовні, динаміки утворення та росту розмірів зовнішньої небезпечної зони є однаковими.

**Масу речовин**, які виходять назовні при локальних пошкодженнях апаратів, визначають за формулою:

$$m_n = \alpha f \omega \rho_t \tau,$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт витрат, який змінюється в межах 0,45 - 0,85; при витіканні через отвір круглої форми в тонких стінках рідин, в'язкість яких становить 0,5-1,5 МПа·с, приймають  $\alpha = 0,64$ ;  $f$  – переріз отвору, через який речовина виходить назовні, м<sup>2</sup>;  $\omega$  – швидкість витікання рідини з отвору, м/с;  $\rho_t$  – густина речовини, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – тривалість витікання, с.

Площу пошкодженої ділянки апарата чи трубопроводу слід приймати з врахуванням їх конструктивних особливостей, а також причин і характеру пошкодження.

**Тривалість витікання речовин** з пошкодженого апарата  $\tau$  складається з часу від початку витікання до моменту виявлення пошкодження  $\tau_1$ , тривалості підготовчих до припинення витікання операцій  $\tau_2$  і тривалості операцій із припинення витікання  $\tau_3$  тобто:  $\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$ .

Швидкість витікання речовин через отвори круглої форми визначається за законами гідравліки. Отвори, форма яких не є круглою, повинні бути приведені до круглого перерізу.

**Швидкість витікання рідини** через отвір у трубопроводі або корпусі апарата при постійному тиску обчислюють за формулою:

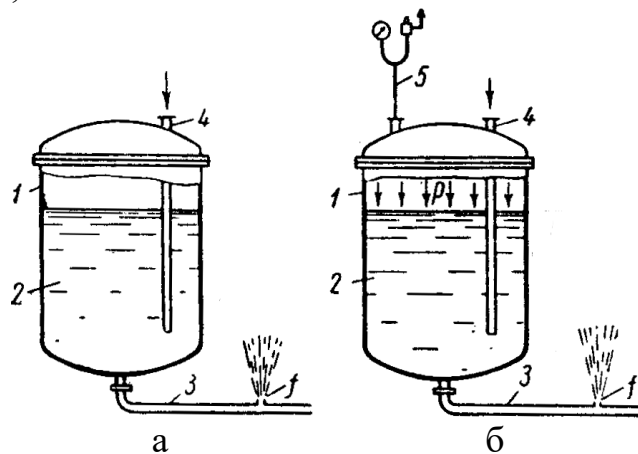
$$\omega = \sqrt{2g \cdot H_{np}},$$

де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення сили тяжіння;  $H_{np}$  – приведений напір, під дією якого проходить витікання рідини через отвір, м.

При витіканні самопливом  $H_{np} = H$  ( $H$  – висота стовпа рідини, м) (рис. 3.20а); при роботі апарата під тиском (рис. 3.20б):

$$H_{np} = \frac{P_{р.н.}}{\rho_p \cdot g} + H,$$

де  $P_{р.н.}$  – надлишковий тиск середовища в апараті над поверхнею рідини, Па;  $P_p$  – абсолютний робочий тиск середовища в апараті, Па;  $\rho_p$  – густина рідини при робочій температурі,  $\text{кг/м}^3$ .



**Рисунок 3.20** – Витікання рідини при локальному пошкодженні апарата: а – за відсутності надлишкового тиску у апараті; б – за наявності надлишкового тиску в апараті; 1 – корпус апарата; 2 – горюча рідина; 3 – витратний трубопровід; 4 – живильна лінія; 5 – контрольно-запобіжні пристрої.

**Швидкість витікання** перегрітих парів і газів через отвір залежить від режиму витікання і визначається за такими формулами:

- для докритичного режиму витікання, коли  $P_C > P_{KP}$ :

$$\omega_{докр} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} R(t_p + 273) \left[ 1 - \left( \frac{P_C}{P_p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]};$$

- для критичного режиму витікання, коли  $P_C \leq P_{KP}$ :

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} R T_p},$$

де  $P_C$  – тиск навколишнього середовища, в яке здійснюється витікання газів, Па (як правило,  $P_C = P_{атм}$ );  $P_{KP}$  – критичний тиск, який визначається з виразу:

$$P_{KP} = P_P \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}},$$

де  $k$  – показник адиабати; значення  $k$  для різних парів і газів приведені в довідниках;  $R$  – універсальна газова стала,  $R = 8314,31$  МДж/кг·К.

**Кількість повітря**, що підсмоктується  $Q_{II}$  через нещільності і пошкодження в апаратах, які працюють під розрідженням, визначають за формулою:

$$Q_{II} = f \alpha \sqrt{\frac{2P_e}{\rho_n} \cdot \frac{(t_p + 273)\tau}{t_{II} + 273}},$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт витрат повітря, дорівнює 0,7;  $P_B$  – величина розрідження (вакууму), Па; чисельні значення величин розрідження  $P_B$  і надлишкового тиску  $P_C$  середовища в апараті пов'язані співвідношенням:  $P_B + P_C = 1 \cdot 10^5$  Па;  $t_p$  – температура середовища в апараті, °С;  $\tau$  – тривалість аварійного режиму, с;  $\rho_n$  – густина повітря, яке підсмоктується в апарат при температурі  $t_n$ , кг/м<sup>3</sup>;  $t_n$  – температура повітря, яке підсмоктується, °С.

При повному руйнуванні вважають, що всі речовини виходять назовні, а також їх витікання продовжуватиметься з трубопроводів до моменту їх від'єднання.

**Маса горючих речовин**  $m_p$ , які виходять назовні при повному руйнуванні апарата, визначається за формулою:

$$m_p = m_{an} + m_{mp1} + m_{mp2},$$

де  $m_{an}$  – маса речовин, які виходять зі зруйнованого апарата, кг;  $m_{mp1}$  і  $m_{mp2}$  – маси речовин, які виходять із трубопроводів відповідно до моменту відключення засувок або інших запірних пристроїв і після їх закриття, кг.

Для апаратів з рідинами або скрапленими газами масу горючих речовин  $m_p$  визначають за формулою:

$$m_p = \left( V_{an} \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{iH} \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jTP} f_{jTP} \right) \rho_P.$$

Для апаратів із стиснутими газами масу горючих речовин  $m_z$  визначають за формулою:

$$m_z = \left( V_{an} \cdot \frac{P_P}{1 \cdot 10^5} \varepsilon + \sum_{i=1}^n q_{iK} \tau_i + \sum_{j=1}^k l_{jTP} f_{jTP} \frac{P_P}{1 \cdot 10^5} \right) \rho_z,$$

де:  $V_{an}$  – геометричний внутрішній об'єм апарата, м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$  – ступінь (коефіцієнт) заповнення апарата;  $P_P$  – робочий тиск середовища в апараті, Па;  $q_{iH}$  і  $q_{iK}$  – продуктивність відповідно  $i$ -го насоса або компресора (або пропускна здатність  $i$ -го трубопроводу), який живить апарат, м<sup>3</sup>/с;  $\tau_i$  – тривалість відключення  $i$ -го збудника витрат, с;  $n_i$  – кількість збудників витрат, які живлять апарат;  $l_{jTP}$  і  $f_{jTP}$  – відповідно довжина [м] і переріз [м<sup>2</sup>]  $j$ -ї ділянки трубопроводу (від аварійного апарата до запірного пристрою), з якого витікає рідина або газ;  $\rho_p$  та  $\rho_z$  – відповідно густина рідини та газу при робочій температурі середовища в апараті, кг/м<sup>3</sup>;  $k$  – число ділянок трубопроводів, які приєднані до аварійного апарата.

Тривалість вимкнення насоса або компресора приймається за 120 с (при автоматичному вимкненні збудника витрат або запірною пристроєм на трубопроводі), або за 300 с (при ручному вимкненні).

**Час повного випаровування рідини  $\tau_n$** , яка розлилась на підлозі промислового приміщення внаслідок аварії технологічного обладнання,

визначають за формулою:  $\tau_n = \frac{m_p}{W_B \cdot F_B}$ ,

де  $W_B$  – інтенсивність випаровування рідини, кг/м<sup>2</sup>. Для легкозаймистих рідин за відсутності дослідних даних визначається за формулою:  $W_B = 10^{-6} \eta \sqrt{M P_s}$ ,  $F_B$  – площа випаровування, яка визначається з такого виразу:

$$F_B = \min \begin{bmatrix} F_p = f_p V_p \\ F_n = ab \end{bmatrix},$$

де  $F_p$  – площа рідини, яка розлилась, м<sup>2</sup>;  $f_p$  – питома площа розлитої рідини, м<sup>-1</sup>;  $V_p = m_p / \rho_p$  ( $\rho_p$  – густина рідини, яка розлилась, кг/м<sup>3</sup>);  $F_n$  – площа підлоги приміщення, м<sup>2</sup>;  $a$  і  $b$  – довжина і ширина приміщення, м.

Величину  $F_p$  приймають згідно з ДСТУ Б В.1.1.38: 2016, виходячи з того, що 1 л сумішей і розчинів, які містять 70% і менше за масою розчинників, розливається на площу 0,5 м<sup>2</sup>, а інших рідин – на площу 1 м<sup>2</sup> (тобто в першому випадку  $f_p = 500$  м<sup>-1</sup>, а в другому  $f_p = 1000$  м<sup>-1</sup>).

**Об'єм зони**, в якій може утворюватися вибухонебезпечна концентрація парів і випаровувань розлитої рідини, визначають за формулою:

$$V_v = \frac{m_{\text{вип}}}{0,5 \varphi_n^*},$$

де  $\varphi_n^*$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я, кг/м<sup>3</sup>.

Для перерахунку концентраційних меж поширення полум'я з об'ємних часток в грами на кубічний метр використовують співвідношення:

$$\varphi_n^* = \frac{M \cdot \varphi_n}{V_t} \quad [\text{кг} / \text{м}^3],$$

де  $\varphi_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я, об. частки;  $M$  – молекулярна маса парів рідини за заданих умов, кг/кмоль;  $V_t$  – молярний об'єм парів рідини за заданих умов, м<sup>3</sup>/кмоль.

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

- для горючих газів:  $R_{\text{НКМП}} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_g}{\rho_g \cdot \varphi_{\text{НКМП}}} \right)^{0,333}$ ,

де  $m_g$  – маса горючих газів, що надійшли у відкритий простір під час аварійної ситуації, кг;  $\rho_g$  – густина горючих газів при розрахунковій температурі і атмосферному тиску, кг·м<sup>-3</sup>;  $\varphi_{\text{НКМП}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я горючих газів, % (об.);

- для парів нагрітих легкозаймистих рідин:

$$R_{\text{НКМП}} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left( \frac{P_H}{\varphi_{\text{НКМП}}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m_{\text{П}}}{\rho_{\text{П}} \cdot P_H} \right)^{0,333}$$

де  $m_{\text{П}}$  – маса парів ЛЗР, що надійшли у відкритий простір за час повного випаровування, але не більше 3600 с, кг;  $\rho_{\text{П}}$  – густина парів ЛЗР при розрахунковій температурі й атмосферному тиску,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $P_H$  – тиск насичених парів ЛЗР при розрахунковій температурі, кПа;  $K$  – коефіцієнт, що приймається рівним  $K=T/3600$  для ЛЗР;  $T$  – тривалість надходження парів ЛЗР у відкритий простір, с;  $\varphi_{\text{НКМП}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я парів ЛЗР, % (об.).

За початок відліку горизонтального розміру зони приймають зовнішні габаритні розміри апаратів, установок, трубопроводів тощо.

**Молярний об'єм парів рідини** за заданих умов визначається за формулою:

$$V_t = V_o \frac{t_p + 273}{273} \cdot \frac{P_o}{P_{\text{заг}}} \quad [\text{м}^3 / \text{кмоль}],$$

де  $V_o = 22,4125 \text{ м}^3/\text{кмоль}$  – молярний об'єм парів за нормальних умов;  $t_p$  – робоча температура рідини,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $P_o$  – тиск за нормальних фізичних умов, Па;  $P_{\text{заг}}$  – загальний тиск системи (робочий тиск у герметичному апараті або барометричний тиск в апараті, який з'єднаний з атмосферою), Па.

**Середня концентрація парів** у приміщенні визначається за формулою:

- за відсутності повітрообміну в приміщенні:  $\varphi_{\text{д}} = \frac{m}{V_B}$ ;
- за наявності повітрообміну в приміщенні:  $\varphi_{\text{д}} = \frac{3600m}{V_B A \tau}$ ,

де  $\varphi_{\text{д}}$  – дійсна концентрація горючих речовин у приміщенні,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $m$  – сумарна маса горючих речовин, які надходять у приміщення з апаратів, кг;  $V_B$  – вільний об'єм приміщення, який визначається з виразу:

$$V_B = 0,8LBH,$$

де  $L$ ,  $B$ ,  $H$  – відповідно довжина, ширина та висота приміщення, м;  $A$  – кратність вентиляції,  $\text{год}^{-1}$ .

**Тривалість утворення вибухонебезпечних концентрацій** у виробничому приміщенні (при пошкодженні апаратів з газами або парами) визначають за формулами:

- за відсутності повітрообміну в приміщенні:

$$\tau_z = \frac{V_e}{q} \ln \frac{1}{1 - \varphi_n};$$

- за наявності повітрообміну в приміщенні:

$$\tau_z = \frac{V_e}{\epsilon + q} \ln \frac{q}{1 - (a + q)\varphi_n},$$

де  $\tau_2$  – тривалість утворення вибухонебезпечних концентрацій у приміщенні, с;  $V_B$  – вільний об’єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $\varphi_n$  – нижня концентраційна межа поширення полум’я горючої речовини, об.частки;  $q$  – інтенсивність надходження парів або газів у приміщення апарата, м<sup>3</sup>/с:

$$q = \alpha \cdot f \cdot \varpi \quad \text{або} \quad q = \frac{m_2}{(\rho_2 \cdot \tau)}$$

де  $a$  – продуктивність вентиляційної системи, м<sup>3</sup>/с.

Горючий пил та волокна, які надходять у виробничі приміщення з працюючих технологічних апаратів, поступово нагромаджуються в результаті осідання і утворення відкладень пилу на підлозі, обладнанні, коробах системи вентиляції та інших поверхнях.

**Масу відкладеного в приміщенні пилу до моменту аварії** визначають за формулою:

$$m_n = \frac{K_z}{K_n} (m_1 + m_2),$$

де  $K_z$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладеного пилу;  $m_1$  – маса пилу, яка осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між генеральними прибираннями, кг;  $m_2$  – маса пилу, яка осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між поточними прибираннями, кг;  $K_n$  – коефіцієнт ефективності пилоприбирання. Приймається при ручному сухому пилоприбиранні – 0,6; при вологому – 0,7; при механізованому вакуумному: підлога рівна – 0,9; підлога з вибоїнами – 0,7.

**Масу осілого пилу** ( $m_i$ ,  $i=1,2$ ) визначають з такого виразу:

$$m_i = M_i (1 - \alpha) \beta_i,$$

де  $M_1 = \sum_j M_{1j}$  – маса пилу, що виділяється в приміщення за період часу між генеральними пилоприбираннями, кг;  $M_{1j}$  – маса пилу, що виділяється одиницею обладнання за вказаний період, кг;  $M_2 = \sum_j M_{2j}$  – маса пилу, що виділяється в приміщення за період часу між поточними пилоприбираннями, кг;  $M_{1j}$  – маса пилу, що виділяється одиницею обладнання за вказаний період, кг;  $\alpha$  – частка пилу, що вилучається витяжними вентиляційними системами. За відсутності експериментальних даних про величину  $\alpha$  приймають, що  $\alpha = 0$ .  $\beta_1, \beta_2$  – частки пилу, що виділяються в приміщення і осідають, відповідно, на важкодоступних і доступних для прибирання поверхнях приміщення ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ).

Масу осілого пилу ( $m_1$  і  $m_2$ ) також можна визначити з такого виразу:

$$m_{1,2} = \sum_{i=1}^n \delta_i S_i \rho_i,$$

де  $\delta_i$  – товщина відкладень пилу, м;  $S_i$  – площа  $i$ -тих поверхонь, які мають відкладення пилу товщиною  $\delta_i$ , м<sup>2</sup>;  $\rho_i$  – насипна густина відкладень пилу, кг/м<sup>3</sup>.

**Розрахункова маса звихреного пилу** ( $m_{\text{вз}}$ ) визначається за формулою:

$$m_{\text{вз}} = K_{\text{вз}} \cdot m_n,$$

де  $K_{\text{вз}} = 0,9$  – частка відкладеного в приміщенні пилу, який під час аварії здатний перейти у завислий стан. За відсутності експериментальних даних приймається:  $K_{\text{вз}}=0,9$ ;  $m_n$  – маса відкладеного в приміщенні пилу до моменту аварії, кг.

**Розрахункова маса пилу, що надходить у приміщення в результаті аварійної ситуації ( $m_{\text{ав}}$ ), визначається за формулою:**

$$m_{\text{ав}} = (m_{\text{ан}} + q \cdot \tau) K_n,$$

де  $m_{\text{ан}}$  – маса горючого пилу, що надходить в приміщення із зруйнованого апарата, кг;  $q$  – продуктивність пристрою, який подає пилоподібний матеріал в апарат трубопроводами до часу їх від'єднання, кг/с;  $\tau$  – час вимкнення, с;  $K_n$  – коефіцієнт запилення, тобто відношення маси завислого у повітрі пилу до загальної маси пилу, що надходить з апарата в приміщення. За відсутності експериментальних даних про величину  $K_n$  приймають:  $K_n = 1$  при розмірі частинок пилу меншому ніж 350 мкм і  $K_n = 0,5$  – при розмірі частинок пилу більшому ніж 350 мкм.

**Концентрацію завислого в повітрі пилу  $\varphi_n$ , який утворився в результаті аварії (при повному руйнуванні апарата), визначають за формулою:**

$$\varphi_n = \frac{m_{\text{зв}} + m_{\text{ав}}}{V_{\text{в}}}$$

**Максимальну безпечну для людей (гранично допустиму) масу ( $m_{\text{л}}^{\text{в}}$ ) горючих газів, парів ЛЗР та ГР і пилу при вибуху в приміщенні вибухонебезпечної суміші визначають за формулою:**

$$m_{\text{л}}^{\text{в}} = \frac{150 \cdot V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} (t_{\text{в}} + 273)}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} z}$$

де  $V_{\text{в}}$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{в}}$  – густина повітря в приміщенні до вибуху при температурі  $t_{\text{в}}$ , кг/м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{H}}^{\text{P}}$  – нижча теплота згоряння речовини, Дж/кг;  $z$  – коефіцієнт участі горючої речовини у вибуху, приймається за довідковими даними.

При обертанні в технологічному процесі індивідуальних горючих газів і парів ЛЗР та ГР, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, максимальну безпечну для людей масу  $m_{\text{л}}^{\text{р}}$  таких речовин визначають за формулою:

$$m_{\text{л}}^{\text{р}} = \frac{150 \cdot V_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{г.н}} \cdot C_{\text{см}}}{(\mu - 1)z}$$

де  $\rho_{\text{г.н}}$  – густина пари або газу при температурі повітря в приміщенні  $t_{\text{в}}$ , кг/м<sup>3</sup>;  $C_{\text{см}}$  – стехіометрична концентрація горючої речовини в повітрі, яка обчислюється за формулою:

$$C_{\text{см}} = \frac{1}{1 + 4,81\beta}$$

де  $\beta = n_{\text{с}} + \frac{n_{\text{H}} - n_{\text{F}}}{4} - \frac{n_{\text{O}}}{2}$  – стехіометричний коефіцієнт при кисні в реакції горіння;  $n_{\text{с}}$ ,  $n_{\text{H}}$ ,  $n_{\text{O}}$  і  $n_{\text{F}}$  – відповідно число атомів С, Н, О, галогенів (Cl, Br, I, F) і N в



молекулі горючого;  $\mu$  – ступінь підвищення тиску при вибуху в замкнутому об'ємі, визначається з виразу:  $\mu = \frac{P_{max}}{P_{бар}}$ ,

де  $P_{max}$  – максимальний тиск вибуху горючої суміші, Па;  $P_{бар}$  – барометричний (атмосферний) тиск, Па.

### Запитання та завдання для самоконтролю

1. Для яких випадків проводиться аналіз утворення горючого середовища всередині апаратів при нормальному проведенні технологічного процесу?
2. Математичний вираз умови наявності горючої суміші в апаратах з рідинами.
3. Як визначити тиск насичених парів при робочій температурі рідини?
4. Визначити значення нижньої та верхньої меж поширення полум'я для аміаку, ацетилену, водню, метану, оксиду вуглецю (CO), пропану при 60, 40, 70, 65, 50, 40 °С, відповідно. Необхідні дані для розрахунку наведені у таблиці.

Таблиця

Найменування газу	Концентраційні межі поширення полум'я, об.частки	
	нижня	верхня
Аміак	0,15	0,28
Ацетилен	0,025	0,81
Водень	0,0412	0,75
Метан	0,0528	0,141
Оксид вуглецю	0,125	0,74
Пропан	0,023	0,094

5. Обчислити концентрацію насичених парів ацетону, бензолу, метилового спирту, толуолу над поверхнею рідини при таких температурах: 30, 55, 60, 70 °С, відповідно. Апарати, у яких знаходяться вказані речовини з'єднані з атмосферою. Значення констант Антуана наведені у таблиці.

Таблиця

Найменування рідини	Константи Антуана		
	A	B	Ca
Ацетон	7,15058	1281,721	237,088
Бензол	6,98426	1252,776	225,187
Метиловий спирт	8,22777	1660,545	245,818
Толуол	6,95508	1345,087	219,526
Н-гептан	6,95154	1295,405	219,819

6. Як обчислити робочу концентрацію горючого газу в суміші з окислювачем?
7. Умова виникнення вибухонебезпечної концентрації всередині апарата з горючим пилом.
8. Записати математичний вираз вибухобезпечних умов експлуатації герметичних апаратів з пожежонебезпечними рідинами та для апаратів з горючим пилом.

9. У газовий змішувач надходить метан та повітря. Витрата метану  $G_{\text{CH}_4} = 200 \text{ м}^3/\text{год}$ , витрата повітря  $G_{\text{пов.}} = 2200 \text{ м}^3/\text{год}$ . Температура суміші  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вміст кисню у повітрі  $\sim 21\%$ . Тиск – атмосферний. Чи буде горючою утворена газоповітряна суміш?
10. Наведіть приклади апаратів з відкритою поверхнею випаровування.
11. У яких випадках з нормально працюючих апаратів у виробничі приміщення та на відкриті майданчики можуть виходити вибухонебезпечні речовини?
12. Визначити кількість бензину Б-70, яка випарується з відкритої поверхні ванни (площа поверхні бензину  $1,3 \text{ м}^2$ , температура  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) за 1 годину (випаровування в нерухоме середовище) Значення констант Антуана:  $A=8,419$ ,  $B=2629,65$ ,  $C_a=364,195$ .
13. Що таке велике та мале „дихання”?
14. Визначити, яка кількість бензолу випарується з апарата при одному великому „диханні”, якщо відомо, що температура в пароповітряному просторі становить  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , тиск  $101325 \text{ Па}$ , об’єм апарата  $15,0 \text{ м}^3$ , а коефіцієнт заповнення –  $0,9$ .
15. Визначити, яка кількість ацетону випарується з резервуара місткістю  $100 \text{ м}^3$  при плавній зміні температури навколишнього середовища від  $18$  до  $32 \text{ }^\circ\text{C}$ . Робочий тиск в резервуарі – атмосферний. Ступінь заповнення резервуара –  $0,6$ .
16. Як визначити кількість рідини, що випарується в рухоме та нерухоме середовище?
17. Чим відрізняється процес випаровування у нерухоме та рухоме середовище?
18. Як визначити кількість парів горючої рідини, які вилучаються з апаратів при великому та малому „диханні”?
19. Які з апаратів є більшу пожежонебезпечними: періодичної чи безперервної дії? Обґрунтуйте відповідь.
20. Як визначити кількість парів горючої рідини, що виходять з апаратів періодичної дії?
21. Чому відбувається вихід парів та газів з працюючого під тиском герметичного обладнання?
22. Як визначити масу та інтенсивність виходу парів або газів з апарата, що працює під тиском?
23. Як впливає наявність повітрообміну на концентрацію горючих речовин у виробничому приміщенні?
24. Розрахувати кількість толуолу, яка вийде при локальному пошкодженні технологічного апарата. Робочий тиск в апараті  $0,25 \text{ МПа}$ , температура рідини  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , висота стовпа рідини в апараті  $2 \text{ м}$ , коефіцієнт витрат –  $0,8$ , діаметр отвору  $10 \text{ мм}$ . Пошкодження апарата було усунуто протягом  $30 \text{ хв}$ .
25. На яку площу виробничого приміщення розіллється горюча рідина при повному руйнуванні апарата об’ємом  $1 \text{ м}^3$ , ступінь його заповнення –  $0,8$ . В момент аварії проводилось наповнення апарата горючою рідиною насосом (продуктивність насоса  $0,5 \text{ л/с}$ ) по трубопроводу (діаметр трубопроводу  $0,05 \text{ м}$ , довжина трубопроводу  $7,0 \text{ м}$ ). Від’єднання насоса на засувку на трубопроводі ручне. Робоча температура рідини  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## РОЗДІЛ 4

### ПРИЧИНИ ПОШКОДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТІВ ТА ЗАХОДИ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ

В процесі експлуатації на матеріал апаратів та трубопроводів впливають речовин, які нагріті до високих температур чи перебувають під високим тиском, навколишнє середовище, яке, особливо в хімічних виробництвах, володіє агресивними властивостями. При проєктуванні матеріал апаратів і товщина стінок підбираються таким чином, щоб вони могли чинити опір впливові речовин, які у них обертаються.

Аварії і пошкодження спричиняються недоліками конструктивного (невдалий підбір матеріалу, неправильний розрахунок) чи експлуатаційного (порушення режиму роботи апаратів) характеру. Класифікацію причин пошкоджень апаратів і трубопроводів показано на рис. 4.1.

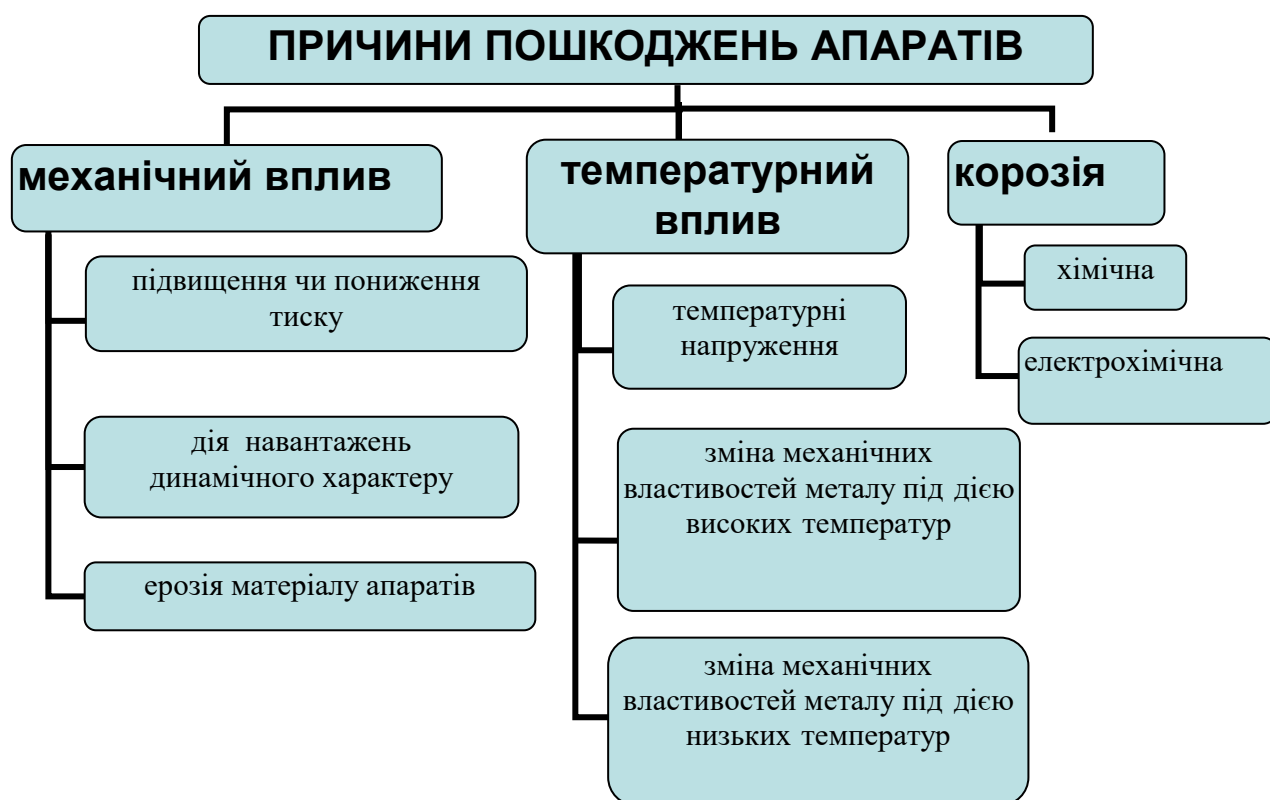


Рисунок 4.1 – Схема класифікації причин пошкоджень апаратів і трубопроводів

Як показано, основними причинами пошкоджень апаратів та трубопроводів є:

- механічні впливи на матеріал апаратів та трубопроводів;
- температурні впливи на матеріал апаратів та трубопроводів;
- хімічний знос матеріалів (корозія).

## 4.1. Механічний вплив на матеріал апаратів

Механічна міцність – здатність матеріалу сприймати зусилля робочих навантажень, не руйнуючись і не утворюючи пластичних деформацій понад гранично встановлені величини. Міцність технологічного обладнання забезпечується правильним підбором матеріалу з врахуванням характеру і величини зовнішніх навантажень, що діють на апарат.

В результаті механічних впливів матеріал апарата або трубопроводу зазнає високих внутрішніх напружень, які здатні послабити щільність швів і з'єднань, і навіть спричинити повне їх руйнування.

Високі внутрішні напруження виникають при підвищеному тиску в апаратах та в результаті навантажень динамічного характеру.

Підвищення тиску, що призводить до пошкодження апаратів, може виникати через ряд причин. Основна з них – це **порушення матеріального балансу роботи апаратів, швидкості і черговості подачі компонентів**.

Якщо, згідно з матеріальним балансом апарата, маса початкових речовин дорівнює масі кінцевих продуктів  $\Sigma G_{\text{поч.}} = \Sigma G_{\text{кінц.}}$ , то в апараті буде підтримуватись встановлений для нього тиск. Якщо кількість речовин, які надходять в апарат, буде збільшуватися при незмінних витратах або коли витрати речовин будуть зменшуватися при постійній подачі, то тиск в апараті буде збільшуватися. Порушення матеріального балансу відбувається якщо продуктивність насосів і компресорів не відповідає прийнятій інтенсивності заповнення апарата; у випадку неправильного з'єднання апаратів, які працюють з різними тисками; при збільшенні опорів у видаткових і дихальних лініях; за відсутності або несправності автоматики регулювання, подачі та відводу речовин.

### **Заходи для дотримання матеріального балансу апаратів:**

- обладнання апаратів відповідними приладами автоматичного контролю, захисту, регулювання та блокування;
- влаштування переливних труб в апаратах, які часто наповнюються;
- встановлення пристроїв, що послаблюють тиск на лініях, які з'єднують апарати з різними тисками;
- очищення речовини від коксу, полімерів, кристалогідратів, солей з метою запобігання утворенню пробок у лініях та запобігання зменшенню прохідного перерізу;
- виконання в запланований термін регламентних робіт з очищення трубопроводів і апаратів від відкладень;
- захист теплоізоляцією газових ліній теплоізоляцією від можливої конденсації парів;
- встановлення буферних посудин перед компресорами для вловлювання конденсату з газу тощо.

### **Порушення температурного режиму роботи апаратів**

Порушення температурного режиму апаратів, що відбувається за відсутності або несправності контрольно-вимірювальних приладів, недогляду персоналу, дії променистої енергії сусідніх апаратів, підвищення температури навколишнього середовища, призводить до підвищення тиску в апараті і в більшості випадків закінчується вибухом або пожежею. Особливо небезпечним

є порушення температурного режиму в переповнених апаратах, оскільки рідини практично нестисливі і навіть невисокі перевищення заданої температури призводять до підвищеного тиску та руйнування апаратів

**Заходи із запобігання порушення температурного режиму роботи апаратів:**

- постійний контроль і регулювання температурного режиму в апаратах;
- захист апаратів теплоізоляційними матеріалами, встановлення захисних екранів, що виключають температурні впливи від сторонніх джерел тепла, фарбування корпусів апаратів у світлі тони;
- автоматичне регулювання безпечного рівня при заповненні посудин (коефіцієнт заповнення для посудин із скрапленими газами 0,85–0,9; з рідинами – 0,9–0,95).

Для створення оптимальних умов безпеки та економічної ефективності необхідно визначити максимально можливий ступінь заповнення посудин рідиною або скрапленим газом.

Величину вільного простору у посудині, апараті або трубопроводі визначають із виразу:  $V_{\text{в}} = \beta \cdot V \cdot \Delta T_{\text{макс}}$ ,

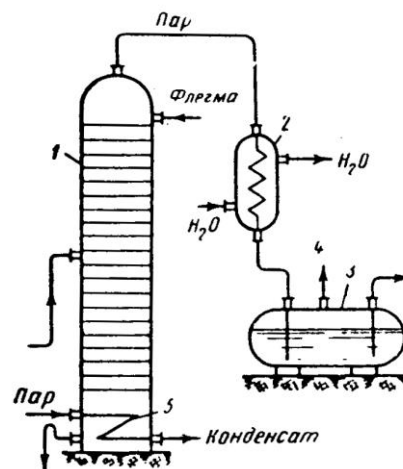
де  $V_{\text{в}}$  – об'єм вільного простору, м<sup>3</sup>;  $V$  – геометричний об'єм апарата, м<sup>3</sup>;  $\Delta T_{\text{макс}}$  – максимальний перепад температури при експлуатації цього апарата, К;  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення рідини, К<sup>-1</sup>.

Допустимий ступінь заповнення резервуарів, посудин, трубопроводів визначають із виразу:

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{в}}}{V} = \frac{1 - V_{\text{в}}}{V} = 1 - \beta \cdot \Delta \cdot T_{\text{макс}} .$$

### Порушення процесу конденсації парів

Порушення процесу конденсації парів також призводить до збільшення тиску. У процесах ректифікації, сорбції випаровування рідин пов'язане з подальшою конденсацією одержаної пари (рис. 4.2). Якщо конденсація пари зменшиться або припиниться, а процес пароутворення буде продовжуватися, то кількість пари буде збільшуватися і тиск в апаратах збільшиться.



**Рисунок 4.2** – Установа ректифікації:

- 1 – колона, 2 – конденсатор для скраплення парів, що надходять з колони;  
3 – приймач конденсату; 4 – повітряна труба резервуара; 5 – підігрівач

Порушення процесу конденсації пари відбувається внаслідок зменшення або повного припинення подачі холодоагенту, в результаті надходження холодоагентів із більш високою початковою температурою, при сильному забрудненні теплообмінної поверхні апаратів (зменшується коефіцієнт тепловіддачі).

Приріст тиску в системі визначається за формулою: 
$$\Delta P = \frac{a \cdot G_n \cdot \tau}{100 \cdot V_t \cdot \rho_t} \cdot P_o$$

де  $a$  – коефіцієнт неповноти конденсації парів, %;  $G_n$  – продуктивність апарата за паром, кг/с;  $\tau$  – тривалість порушення нормального режиму конденсації, с;  $\rho_t$  – густина пари рідини при робочій температурі та тиску в апараті, кг/м<sup>3</sup>;  $V_t$  – вільний об'єм системи, м<sup>3</sup>;  $P_o$  – тиск навколишнього середовища, Па.

#### **Заходи для дотримання нормального процесу конденсації парової фази:**

– обладнання апаратів необхідними приладами автоматичного регулювання. Наприклад, контроль за величиною тиску в ректифікаційних колонах та випарних апаратах здійснюється з допомогою приладів автоматичного регулювання подачі охолоджувальної рідини в конденсатори залежно від тиску і температури парів, які подаються на конденсацію.

– контроль температур холодоагенту перед надходженням у конденсатори та на виході із них. Здійснюється з допомогою автоматичної системи регулювання кількості охолоджувальної рідини, що подається в конденсатори, залежно від величини її температури на виході з конденсатора.

– дотримання встановлених термінів очищення теплообмінної поверхні від відкладень, що необхідне не тільки для підтримання нормальної продуктивності конденсатора, але і є вимогою безпеки.

– здійснення автоматичного контролю за роботою вакуум-насосів. При зменшенні продуктивності вакуум-системи повинен автоматично подаватись сигнал обслуговуючому персоналу для вживання відповідних заходів.

– автоматичного від'єднання апарата при порушенні режиму конденсації.

#### **Занесення у високотемпературні апарати рідин із низькою температурою кипіння**

Якщо в апарат із високою робочою температурою вноситься рідина, температура кипіння якої нижча, то відбувається інтенсивне випаровування рідини і підвищення тиску.

Рідина з низькою температурою кипіння може потрапити в апарат з продуктом, що подається, через нещільності теплообмінної поверхні, при неправильному переключенні ліній, у вигляді конденсату з парових і продувних ліній.

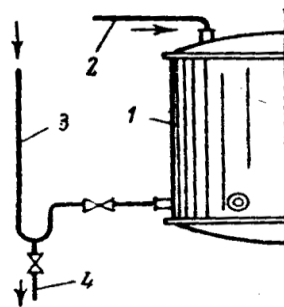
Приріст тиску у високотемпературних апаратах при потраплянні в них рідин з низькою температурою кипіння і швидкому їх закипанні визначають за формулою:

$$\Delta P = 0,082 \cdot \frac{m \cdot T_p}{M \cdot V_e} \cdot P_o,$$

де  $P_o$  – тиск навколишнього середовища, Па;  $m$  – маса рідини з низькою температурою кипіння, що надійшла і випарувалася в апараті, кг;  $V_e$  – вільний об'єм системи, м<sup>3</sup>;  $T_p$  – робоча температура в апараті, К;  $M$  – молекулярна маса рідини, що потрапила в апарат, кг/кмоль.

### **Заходи із запобігання потраплянню у нагріті до високих температур апарати рідин із низькою температурою кипіння:**

- застосування пристроїв для вилучення конденсату на лініях подачі гострої водяної пари (рис. 4.3);



**Рисунок 4.3** – Пристрій для продування парової лінії від конденсату:

1 – корпус апарата; 2 – продуктова лінія; 3 – лінія водяної пари; 4 – трубка для продувки лінії від конденсату

- повне зливання води з апаратів після їх гідравлічного випробування або випарювання залишків;
- контроль за наявністю води у вихідній сировині;
- осушення та зневоднення речовин, які подаються до апарата;
- контроль за правильністю приєднання ліній до апарата;
- подача пари в достатньо прогріті апарати.

### **Порушення режиму роботи апаратів з екзотермічними процесами**

Порушення режиму роботи апаратів з екзотермічними процесами також призводить до підвищення тиску в апаратах і до можливих пошкоджень. Це відбувається:

- при невчасному відведенні надлишкового тепла реакції;
- при порушенні співвідношення речовин, що реагують;
- при збільшенні кількості каталізатора або ініціатора;
- при невчасному відводі з реактора надлишкових газоподібних продуктів реакції;
- при утворенні пробок у лініях, що випускають та відводять речовини;
- зменшення кількості, надлишкового тепла, що відводиться з апарата, відбувається через:
  - припинення подачі холодоагенту;
  - забруднення теплообмінної поверхні;

- зниження інтенсивності перемішування.

**Заходи для дотримання нормального режиму роботи апаратів з екзотермічними процесами:**

- влаштування автоматичних дозаторів співвідношення речовин, які подаються до апарата ;
- застосування автоматичних регуляторів подачі холодоагенту;
- автоматичне випускання надлишкового тиску для забезпечення своєчасного відводу газоподібних продуктів реакції.

**Дія на матеріал апаратів та трубопроводів навантажень динамічного характеру**

Динамічні навантаження зумовлюють значно вищі внутрішні напруження в конструкціях апарата ніж ті, які виникають при статичній дії цих навантажень. Основні причини виникнення динамічних навантажень:

а) різкі зміни тиску в апаратах і трубопроводах, що відбуваються в моменти пуску чи зупинки апаратів, а також при грубих порушеннях встановленого режиму температур та тиску;

б) гідравлічні удари (частіше зазнають трубопроводи і насоси) найбільш характерні при швидкому закриванні та відкриванні вентилів на трубопроводах, при великих пульсаціях рідини, що подається насосами, при різкій зміні тиску на будь-якій ділянці трубопроводу, при потраплянні рідин в газові лінії компресорів.

Приріст тиску в трубопроводі при гідроударах визначають за формулою Н.Жуковського:  $\Delta P = c \cdot \Delta \omega \cdot \rho_t$ ,

де  $c$  – швидкість поширення ударної хвилі, м/с;  $\rho_t$  – густина рідини при робочій температурі, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta \omega$  – зменшення швидкості руху рідини в трубопроводі визначається за формулою:  $\Delta \omega = \omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{кінець}}$ ,

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

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

в) вібрація апаратів і трубопроводів виникає при систематичній зміні внутрішнього тиску, при впливі зовнішніх сил. Наслідком їх є утворення нещільностей у фланцевих з'єднаннях, порушення швів і навіть руйнування апаратів.

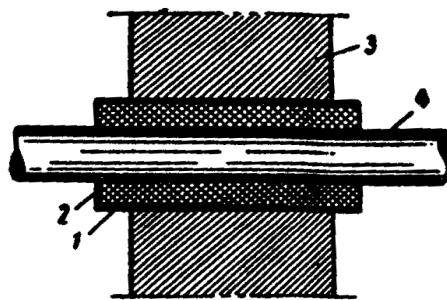
Найчастіше вібрації відбуваються в недостатньо закріплених трубопроводах, що працюють під тиском, в апаратах, з'єднаних із поршневыми насосами і компресорами, в апаратах, розташованих поблизу працюючих агрегатів, в недостатньо закріплених апаратах.

До механічних пошкоджень від дії навантажень динамічного характеру також можна віднести зовнішні механічні удари при необережній роботі внутрішньоцехового транспорту, в результаті ударів падаючих вантажів, при застосуванні інструментів ударної дії.



**Для запобігання дії на матеріал апаратів та трубопроводів навантажень динамічного характеру необхідно:**

- забезпечити плавність зміни тиску при пуску, зупинці та в періоди переходу з одного режиму роботи апарата в інший;
- уникати гідравлічних ударів, для чого на лініях із рідинами встановлюють зворотні клапани, газові ковпаки на газових лініях від компресорів, застосовують різноманітні пристрої для уникнення потрапляння рідин у газові лінії компресорів;
- застосовувати методи боротьби з вібрацією шляхом заміни поршневих насосів відцентровими, спорудженням масивних фундаментів під апаратами, які вібрують, надійним кріпленням трубопроводів та апаратів, ізоляцією еластичними прокладками апаратів, які вібрують (рис.4.4);



**Рисунок 4.4** – Захист глухої стіни від пошкоджень в місцях прокладання вібруючої труби:

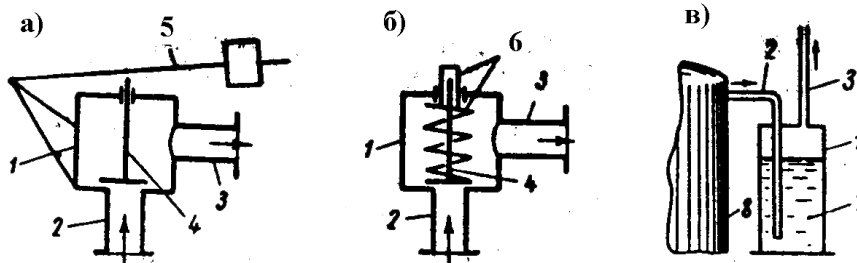
1 – гільза (металічна труба); 2 – азбестове волокно або ущільнена шлаковата; 3 – стіна; 4 – трубопровід

- виключенням механічних ушкоджень (наявність огороження, обмеження швидкості і зони руху виробничого транспорту, прокладка трубопроводів у закритих траншеях та естакадах).

#### **Застосування запобіжних клапанів та мембран**

Для захисту технологічного обладнання від підвищення внутрішнього тиску використовують запобіжні клапани та мембрани.

За конструктивним виконанням запобіжні клапани поділяють на важільні, вантажні, пружинні, манометричні (рис. 4.5).



**Рисунок 4.5** – Схеми запобіжних клапанів:

а – важільний; б – пружинний; в – манометричний; 1 – корпус клапана; 2 – патрубок для з'єднання з апаратом; 3 – патрубок для з'єднання з відповідною лінією; 4 – тарілка і шток клапана; 5 – важіль з противагою; 6 – пружина з регулятором натягу; 7 – рідина; 8 – апарат

Запобіжні клапани розташовуються на апаратах або поблизу них на іншому обладнанні. При виборі запобіжного клапана виходять із того, що він повинен спрацювати при досягненні такого тиску:

- $> 0,05$  МПа в апаратах із  $P_p=0,07-0,3$  МПа;
- $> 15$  % робочого тиску в апаратах із  $P_p < 6$  МПа;
- $> 10$  % робочого тиску в апаратах із  $P_p > 6$  МПа.

Вибір запобіжного клапана також залежить від його пропускної здатності, що визначається за формулою:

$$G = 1,41 \cdot \varphi \cdot F \cdot B \cdot \sqrt{(P_{cn} - P_g) \cdot \rho_t} \quad ,$$

де  $G$  – максимальна пропускна здатність запобіжного клапана, кг/с;  
 $\varphi$  – коефіцієнт витрати середовища через клапан,  $\varphi=0,16-0,17$ ;

$F$  – площа прохідного перерізу, м<sup>2</sup>;  $B$  – коефіцієнт розширення парів або газів при їх витіканні через отвір залежно від величини показника адіабати, визначається за довідковими даними. Для рідин  $B = 1$ ;  $P_{cn}$  – абсолютний тиск спрацювання запобіжного клапана, МПа;  $P_g$  – тиск на виході із відповідного патрубку запобіжного клапана, тобто тиск середовища, у яке здійснюється скидання парів або газів, МПа;  $\rho_t$  – густина пари або газу при робочій температурі, кг/м<sup>3</sup>.

На апаратах із горючими і токсичними продуктами скидання парів і газів від запобіжних клапанів здійснюється через відвідну лінію в атмосферу, на факел або в газгольдер.

На апаратах та ємностях із скрапленими газами встановлюються по два запобіжних клапани – кожний на повну пропускну здатність.

### Ерозія матеріалу апаратів і трубопроводів

Ерозія – механічний знос матеріалу рухомим середовищем. Відбувається при обтіканні конструкцій потоком твердих, рідких чи газоподібних часток або при електричних розрядах. Внаслідок ударів об поверхню конструкції частинки потоку руйнують поверхневий шар, що призводить до зменшення товщини стінки, утворення борозенок, раковин. В результаті ерозії зменшується товщина стінок апаратів (трубопроводів) і в них виникають небезпечні напруження в них навіть при нормальному перебігу технологічного процесу.

Ерозія буває: газова; абразивна; кавітаційна; електрична; ультразвукова.

При **газовій ерозії** метал руйнується під дією струменя газу, що швидко рухається або вдаряється об перешкоду; **абразивна ерозія** відбувається під впливом струменя газу або рідини з завислими твердими частинками, що знаходяться у ній; **кавітаційна** – відбувається внаслідок дії парогазових бульбашок у струмені рідини, що потрапили в область підвищеного тиску; **електрична** – під впливом електричних іскор; **ультразвукова** – під впливом звукових коливань завислих твердих частинок у рідині.

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.

### Заходи для зменшення шкідливого впливу ерозії :

- застосування стійкого до цього виду ерозії матеріалу (молібден і ін.);
- застосування відбивачів та розсікачів струменів;
- очищення речовин (газів, рідин) від твердих домішок;
- виключення явища кавітації;
- захист внутрішньої поверхні апаратів футеруванням;
- зниження шорсткості поверхні обладнання;
- періодичний контроль за станом (товщиною) стінок апаратів;
- зниження турбулентності потоку, влаштування плавних переходів, поворотів трубопроводів.

## 4.2. Температурний вплив на матеріал апаратів

При експлуатації виробничого обладнання, нещільності та пошкодження можуть виникати в результаті утворення непередбачених розрахунком температурних напружень в матеріалі стінок апаратів та трубопроводів, а також в результаті зміни механічних властивостей металів під дією як високих, так і низьких температур.

Небезпека руйнування апаратів та їх вузлів виникає, якщо не виконується умова:

$$\sigma \leq [\sigma],$$

де  $\sigma$  – фактичне напруження, що виникає в обладнанні, Па;  $[\sigma]$  – розрахункове допустиме напруження, Па.

Допустиме напруження для матеріалу обладнання залежить від механічних властивостей цього матеріалу, робочої температури, характеру навантаження та умов роботи апарата або трубопроводу.

Розрахункове допустиме напруження для апаратів із горючими рідинами, парами і газами визначають за формулою:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{np},$$

де  $\eta$  – поправковий коефіцієнт, який залежить від  $\varphi_n$  і  $t_{csp}$  речовин, що використовуються;  $\sigma_{np}$  – нормативне допустиме напруження, Па.

### Температурні напруження

Температурні напруження в матеріалі, з якого виготовлені технологічні апарати і трубопроводи, виникають тоді, коли існують перешкоди лінійній зміні окремих елементів (вузлів) або конструкції в цілому у таких випадках:

– при різких змінах робочої температури апарата або зовнішнього середовища. В процесі експлуатації температура в трубопроводах змінюється зі зміною температури навколишнього середовища і продуктів, що перекачуються. Висока теплопровідність матеріалу труб може призвести до руйнування трубопроводу, арматури опори і завдати пошкодження обладнанню і резервуарам;

– за наявності в апараті елементів, які перебувають під дією різних температур. Місцеве і нерівномірне нагрівання конструктивних елементів технологічних апаратів спостерігається в процесі пожежі, коли на окремі частини апарата впливає полум'я або розжарені продукти горіння, або вони піддаються впливу променистої енергії;

– в товстостінних конструкціях (особливо за наявності в апаратах біметалічних конструкцій або конструктивних елементів);

– під впливом нерівномірної дії температури на жорстко закріплених конструкціях та вузлах апаратів. Величину температурних напружень  $\sigma_t$ , що виникають від нагрівання в жорстко закріплених ділянках трубопроводів або вузлах апарата, визначають за формулою:  $\sigma_t = \alpha \cdot \Delta T \cdot E$ ,

де  $E$  – модуль пружності матеріалу, Па;  $\Delta T$  – зміна температури, К;  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу конструкції,  $K^{-1}$ .

Загальне внутрішнє напруження, що виникає в матеріалі від дії корисного навантаження і від температурних впливів, може перевищити межі текучості, міцності і зумовити розрив стінок апаратів трубопроводів.

#### **Заходи із запобігання руйнуванню апаратів та трубопроводів від температурних напружень:**

- встановлення температурних компенсаторів на апаратах та трубопроводах;
- застосування рухомих опор при кріпленні трубопроводів для суміщення кріплення труб з можливістю їх деякого переміщення в поздовжньому напрямку;
- теплоізоляція зовнішньої поверхні апаратів;
- застосування автоматичних регуляторів температури для підтримання температурного режиму в товстостінних апаратах;
- захист апаратів та трубопроводів від місцевого нагрівання;
- застосування автоматичного регулювання подачі речовин, які вступають в екзотермічні реакції;
- плавне нагрівання і охолодження апаратів при їх пуску та зупинці;
- захист нагрітих до високих температур апаратів від різкого охолодження;
- контроль температури стінок апаратів;
- охолодження внутрішніх стінок апаратів.

#### **Зміна механічних властивостей металу під дією високих температур**

При високих робочих температурах під час технологічного процесу відбувається значне погіршення основних показників, що характеризують механічні властивості металів і сплавів. Істотних змін зазнають вуглецеві сталі.

Тривалий вплив високих температур на матеріал, з якого виготовлені технологічні апарати, призводить до появи повільних пластичних деформацій в

апаратах навіть у тих випадках, коли напруження від робочих навантажень не перевищує межі текучості. Таке явище називається текучістю (крипп).

Умови для перегріву металу створюються при обкоксуванні і забрудненні теплообмінної поверхні апаратів. Подібні явища називають прогаром стінки. Так, у парових казанах перегрів ділянок може виникати в результаті відкладення на трубах накипу, у печах для нагрівання органічних рідин і газів – продуктів термічного розкладу (коксу); у селітрових ваннах загартування – шламу.

#### **Заходи для запобігання руйнуванню апаратів та трубопроводів від дії високих температур:**

- влаштування екранів та стаціонарних систем охолодження;
- дотримання відповідних відстаней між апаратами;
- застосування спеціальних сталей, що зменшують явище “повзучості”;
- очищення внутрішніх поверхонь від коксу й інших відкладень;
- футерування внутрішньої поверхні апаратів;
- захист апаратів та трубопроводів теплоізоляцією.

#### **Зміна механічних властивостей металу під дією низьких температур**

Пошкодження технологічного обладнання може наступити в результаті впливу не тільки високих, але і низьких температур. В таких умовах апарати і трубопроводи є особливо чутливими до різного роду динамічних впливів (ударів, вібрації тощо).

При низьких температурах працюють холодильні установки, установки газофракціонування (при температурі  $-30^{\circ}\text{C}$  і нижчій), установки для виробництва рідкого повітря, кисню й азоту (при температурі  $-180^{\circ}\text{C}$  і нижчій). У таких умовах експлуатації обладнання виникає небезпечне явище холодноламкості сталі, пов'язане із зменшенням ударної в'язкості. Для звичайних маловуглецевих конструкційних сталей ударна в'язкість різко зменшується при низьких температурах. Втрата ударної в'язкості матеріалу може призвести до утворення тріщин і повного руйнування апаратів і трубопроводів.

#### **Запобігти руйнуванню апаратів та трубопроводів від дії низьких температур можна:**

- застосуванням сталі з підвищеною ударною в'язкістю (вуглецеві сталі підвищеної якості, низьколеговані);
- захистом теплоізоляційним прошарком;
- обладнанням внутрішніми змійовиками з циркулюючим гасом при температурі стінок апаратів нижчій за  $-50^{\circ}\text{C}$ .

### 4.3. Корозія матеріалу апаратів

У технологічних процесах виробництва кислот, зокрема азотної, сірчаної, соляної, оцтового альдегіду чи при їх використанні; при переробці і зберіганні сірчистих нафт; в процесах електролізу; у соляних термічних ваннах; під час обробки рідини і газів, до складу яких входять кислоти, луги, хлориди, сульфати; в підземних, підводних апаратах; на поверхнях, що контактують з полум'ям, відбувається корозія виробничої апаратури, трубопроводів і прокладкових матеріалів.

Корозія – зменшення товщини стінок апаратів в результаті хімічної взаємодії матеріалу апаратів з речовинами, які в них поміщені, або з зовнішнім середовищем. Речовини, що перебувають в апаратах, хімічні домішки, що містяться в них, каталізатори, ініціатори, інгібітори, а також середовище, яке оточує апарати, можуть вступати у взаємодію з матеріалом корпусу, викликаючи його руйнування.

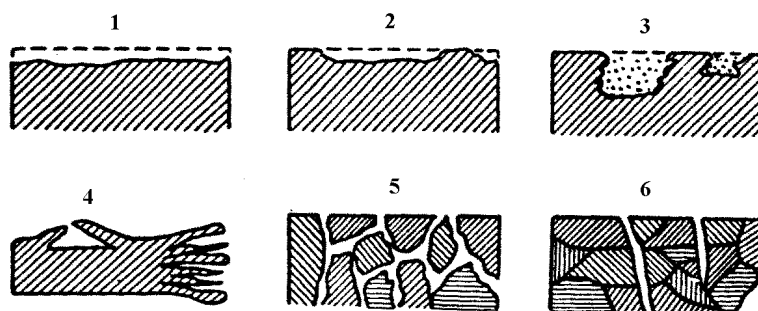
Руйнуючій дії корозії піддаються найбільш слабкі місця – шви, різні з'єднання, прокладки, місця вигинів і поворотів труб.

Розрізняють два основні види корозії:

- **хімічна** – прямий хімічний вплив на метал;
- **електрохімічна** – вплив на метал електрохімічних реакцій.

Існує біохімічна корозія – вплив на метал мікроорганізмів, однак у чистому вигляді зустрічається рідко.

За зовнішнім виглядом корозія буває: рівномірною, плямами, виразками, поверхневою, міжкристалітною, внутрішньокристалітною (рис. 4.6).



**Рисунок 4.6** – Види корозійних руйнувань металу:

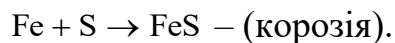
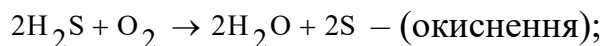
1 – рівномірна корозія; 2 – корозія плямами; 3 – корозія виразками; 4 – поверхнева корозія; 5 – міжкристалітна корозія; 6 – внутрішньокристалітна корозія

#### Хімічна корозія

Хімічна корозія проходить у середовищі рідких діелектриків або газів, нагрітих до високих температур. Це окисно-відновний процес, до якого відносяться: киснева, сірководнева, сірчана, воднева корозії.

**Киснева корозія** характерна при взаємодії сталі з киснем повітря, що супроводжується утворенням окалини ( $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), яка не має механічної стійкості і легко відшаровується від металу. Швидкість окиснення збільшується з підвищенням температури і концентрації кисню.

**Сірчана і сірководнева корозії** виникають при переробці сірчистої сировини в нафтопереробній, нафтохімічній, хімічній, коксобензолній та газовій галузях промисловості. Корозія відбувається під впливом елементарної сірки чи її сполук з утворенням сірчистого заліза:

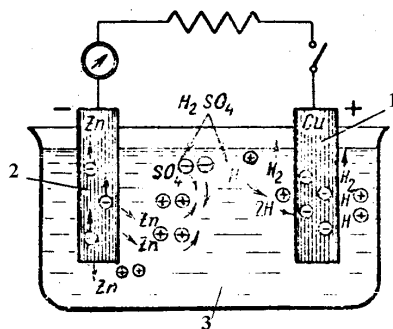


**Воднева корозія**, характерна для процесу виробництва аміаку, процесів гідрогенізації, гідроочистки та реформінгу нафтопродуктів, особливо проявляється при високих тиску і температурі. Воднева корозія відноситься до міжкристалітного типу. Вона протікає за таким механізмом: дифузія водню проходить вглиб металу по межах структурних зерен. При цьому відбувається часткове розчинення водню і хімічна взаємодія його з цементитом сталі за реакцією:  $\text{Fe}_3\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{Fe}$ . Цей процес супроводжується руйнуванням структури зерна та утворенням дрібних тріщин. У тріщини, що утворилися, проникає водень, що викликає продовження і прискорення процесу корозії.

### Електрохімічна корозія

Електрохімічна корозія відбувається у випадку, коли поверхня металу контактує з будь-яким електролітом, і супроводжується процесом розчинення металів в електролітах у результаті дії гальванічних пар, що утворюються.

Суть процесу аналогічна роботі гальванічного елемента (рис.4.7). Якщо метал не є однорідним, окремі його ділянки мають різну здатність до розчинення. Чим лівіше розташований метал у ряду напруженості, тим легше він розчиняється в електроліті. Певні ділянки поверхні апарата, стикаючись з електролітом, стають анодом, інші – катодом.



**Рисунок 4.7** – Схема взаємодії металів з електролітом:

1 – катод (не розчиняється); 2 – анод (розчиняється); 3 – електроліт

Якщо неоднорідний метал занурити в електроліт, то іони більш активного металу будуть переходити в розчин. Ділянка обладнання, поверхня якого є анодом, буде руйнуватися. Негативні іони електроліту переміщуються в напрямку позитивно заряджених іонів металу, що виділяються і, з'єднуючись із ними, утворюють хлористу сіль металу. У той же час позитивно заряджені іони електроліту (водню) переміщуються до негативно заряджених ділянок стінки і,

нейтралізуючись, утворюють молекулу водню. Кількість металу, що розчинився,

визначають за формулою:  $\Delta g = \frac{A \cdot I \cdot \tau}{\Phi \cdot n}$ ,

де  $I$  – корозійний струм;  $\Phi$  – стала Фарадея,  $\Phi = 96500$  Кл;  $A$  – атомна маса металу;  $n$  – валентність іона металу, що переходить у розчин;  $\tau$  – тривалість корозії.

До електрохімічної корозії відносяться:

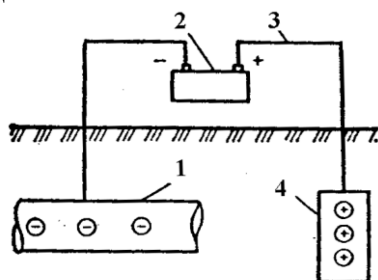
- атмосферна корозія, що проходить у вологому повітрі, яке має домішки агресивних парів та газів;
- корозія в розчинах кислот, лугів, солей тощо;
- корозія в розплавлених солях;
- ґрунтова корозія;
- корозія блукаючими струмами.

**Заходи для запобігання пошкодженням технологічного обладнання в результаті руйнування металу від впливу корозії:**

- застосування корозійностійких матеріалів (бронза в середовищах із розчинами солей, титан у розчинах оцтової кислоти; нержавіючі сталі в окисних середовищах, алюміній у 40% розчині мурашиної кислоти тощо);
- ізоляція металу від агресивного середовища захисними покриттями (покриття лаками, фарбами, застосування бітумно-пекових обмазок для захисту від ґрунтової корозії, нанесення тонких металевих плівок і футерівки (керамічна плитка, пластмаса тощо));
- зменшення корозійної активності середовища (очищення речовин, що обробляються, від агресивних домішок; введення інгібіторів у ґрунт (нітрати, фосфати та ін.); осушення місць встановлення технологічного обладнання);
- застосування неметалевих хімічно стійких матеріалів (пластмас (поліетилен, поліпропілен, фторопласти), скла, кераміки);
- застосування установок катодного захисту проти електрохімічної корозії тощо.

Захист від електрохімічної корозії базується на ліквідації анодних ділянок, що можуть виникати на поверхні технологічного обладнання.

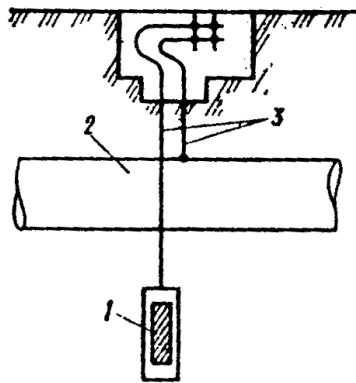
Катодний (рис. 4.8) і протекторний захист (рис. 4.9) дає можливість створити різницю потенціалів між спорудою, що захищається, і ґрунтом. При цьому вся споруда стає катодом.



**Рисунок 4.8** – Катодний захист:

- 1 – підземний трубопровід (катод), який захищається; 2 – джерело постійного струму; 3 – з'єднувальні проводи; 4 – металобрухт (анод)





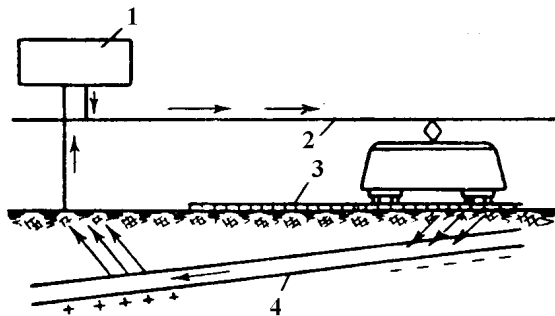
**Рисунок 4.9** – Протекторний захист:

1 – протектор; 2 – підземний трубопровід; 3 – з'єднувальні проводи

### **Корозія металу блукаючими струмами**

Корозія металу блукаючими струмами (струмами витікання) є різновидом електрохімічної корозії, але вона є більш руйнівна, оскільки величина струмів витікання є значною.

Блукаючі струми виникають в результаті неякісної електроізоляції при прокладанні рейок електричних залізничних і трамвайних колій, неправильному встановленні акумуляторних батарей, несправності силових і освітлювальних кабелів. На рис. 4.10 наведено схема корозії блукаючими струмами підземного трубопроводу. Як показано, корозія блукаючими струмами відбувається на анодній ділянці, тобто у місцях виходу струму з труби у ґрунт. Швидкість корозії пропорційна густині струму, який проникає у ґрунт. В середньому струм силою 1 А розчиняє протягом року до 7 кг металу.



**Рисунок 4.10** – Схема корозії струмами витікання:

1 – тягова підстанція; 2 – контактний провід; 3 – рейки; 4 – підземна споруда (трубопровід)

### **Заходи для запобігання корозії металу блукаючими струмами:**

- зменшення кількості точок, які створюють можливість витікання струму в ґрунт;
- зменшення струмів витікання, тобто збільшення перехідного опору між струмопровідними пристроями і землею;
- покращення якості електроізоляційного захисту підземної споруди;
- влаштування дренажного захисту і використання установок катодного захисту.

## Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть механічні впливи на матеріал апаратів та трубопроводів, які можуть призвести до їх пошкодження.
2. У яких випадках виникає порушення температурного режиму апаратів?
3. Яким повинен бути безпечний рівень заповнення посудин із скрапленим газами?
4. Як класифікують запобіжні клапани за конструктивним виконанням?
5. Що таке ерозія матеріалу та трубопроводів? Її види.
6. Яка рушійна сила ультразвукової ерозії?
7. Яке призначення розсікачів? У яких технологічних процесах їх використовують?
8. Оцінити можливість руйнування апарата об'ємом  $20 \text{ м}^3$ , який на 80% заповнений кам'яновугільним маслом (при температурі  $593 \text{ К}$ ), якщо до нього помилково було подано низькокиплячу рідину – етилбензол. Кількість етилбензолу, який потрапив до апарата,  $m=90 \text{ кг}$ . Робочий тиск в апараті  $P_p=0,75 \text{ МПа}$ . Матеріал апарата – сталь 15ХМ ( $\sigma_s = 450 \text{ МПа}$ ); діаметр апарата  $D_B=3,5 \text{ м}$ ; товщина стінки  $14 \text{ мм}$ . Додаток на корозію прийняти рівним  $1 \text{ мм}$ .
9. Назвіть заходи для зменшення шкідливого впливу ерозії.
10. Обчислити тиск спрацювання запобіжного клапана, якщо робочий тиск в апараті: а)  $P_p=0,3 \text{ МПа}$ ; б)  $P_p=2 \text{ МПа}$ ; в)  $P_p=4 \text{ МПа}$ ; г)  $P_p=14 \text{ МПа}$ ; д)  $P_p=10 \text{ МПа}$ .
11. Як температурні фактори впливають на пошкодження технологічного обладнання?
12. Яке призначення температурних компенсаторів?
13. Від яких чинників залежить компенсувальна здатність вигнутих компенсаторів?
14. Як впливають високі температури на механічні властивості матеріалу?
15. У яких технологічних процесах відбувається руйнування обладнання внаслідок корозії апаратури?
16. Під час запуску товстостінного апарата в роботу сталося його руйнування. Дати обґрунтований розрахунками висновок про можливу причину його руйнування. Зовнішній діаметр апарата  $D_z = 2,1 \text{ м}$ , внутрішній  $D_B = 1,3 \text{ м}$ . В момент пошкодження корпусу апарата зареєстровані такі значення температур: внутрішньої поверхні  $t_b = 580 \text{ }^\circ\text{C}$ , зовнішньої  $t_z = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Прийняти для матеріалу апарата  $[\sigma] = 75 \text{ МПа}$ ,  $\alpha = 14 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ,  $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ ,  $\mu = 0,32$ .
17. Назвіть види корозійних руйнувань металу.
18. Які заходи слід передбачити для запобігання пошкодженням технологічного обладнання в результаті руйнування металу від впливу корозії?
19. Опишіть механізм електрохімічної корозії.
20. У яких випадках виникає корозія металу блукаючими струмами? Назвіть заходи для її запобігання.

## РОЗДІЛ 5 ВИРОБНИЧІ ДЖЕРЕЛА ЗАПАЛЮВАННЯ

Джерелом запалювання може бути таке нагріте тіло (при вимушеному запалюванні) або такий екзотермічний процес, які здатні нагріти деякий об'єм горючої суміші до певної температури, коли швидкість тепловиділення (через реакції в горючій суміші) дорівнює або перевищує швидкість тепловідведення з зони реакції. В цьому випадку потужність та тривалість теплової дії джерела повинні забезпечувати підтримку критичних умов протягом часу, необхідного для розвитку реакції з формуванням фронту полум'я, здатного до подальшого вільного поширення.

Нагріті тіла, як джерела примусового запалювання горючих сумішей, характеризуються температурою ( $t_{\partial.з.}$ ), кількістю тепла (енергією) ( $Q_{\partial.з.}$ ) і тривалістю дії ( $\tau_{\partial.з.}$ ).

Джерелом запалювання вважають таке тіло, яке має достатню температуру, запас теплової енергії і яке діє протягом часу, необхідного для запалювання горючого середовища. Для того, щоб тіло було джерелом запалювання, повинні виконуватися такі умови:

- температура джерела запалювання повинна бути більша (або рівна) за температуру самозаймання горючої речовини:  $t_{\partial.з.} \geq t_{ccз}$ ;
- запас теплової енергії джерела запалювання повинен бути достатнім (більшим або рівним) для нагрівання горючої речовини до температури самозаймання:  $Q_{\partial.з.} \geq Q_{min}$ ;
- час дії джерела запалювання повинен бути більшим (або рівним) за період індукції горючого середовища:  $\tau_{\partial.з.} \geq \tau_{ind.}$ .

Параметри джерела запалювання можна визначити розрахунковим або дослідним шляхом, а горючого середовища – за довідковою літературою.

Тривалість дії виробничих джерел запалювання ( $\tau_{\partial.з.}$ ), як правило, значно перевищує період індукції горючої суміші. В такому випадку умова утворення джерела запалювання в горючій суміші виконується при такому відношенні:

$$(t_{\partial.з.} \geq t_{ccз}) \cap (Q_{\partial.з.} \geq Q_{min}),$$

де  $t_{\partial.з.}$  – температура нагрітого тіла, °С;  $Q_{\partial.з.}$  – енергія (кількість тепла) нагрітого тіла, Дж;  $t_{ccз}$  – температура самозаймання горючої речовини, °С;  $Q_{min}$  – мінімальна енергія запалювання горючої суміші, Дж.

Знаючи умови формування джерела запалювання, можна створити такі умови проведення технологічних процесів, які виключали б можливість утворення джерел запалювання. До безпечних параметрів проведення технологічних процесів відносяться:

$$Q_{без} \leq 0,4 \cdot Q_{min},$$
$$t_{без} \leq 0,8 \cdot t_{ccз}$$

де  $Q_{без}$  – безпечна енергія запалювання, Дж;  $Q_{min}$  – мінімальна енергія запалювання, Дж;  $t_{без}$  – безпечна температура, °С;  $t_{ccз}$  – температура самозаймання, °С.

У виробничих умовах джерела запалювання є різноманітними як за природою походження, так і за тривалістю дії та запасом теплової енергії.

За тривалістю дії джерела запалювання поділяють на постійно діючі (передбачені технологічним регламентом при нормальному режимі роботи обладнання) та потенційно можливі джерела запалювання (виникають при порушенні технологічного процесу).

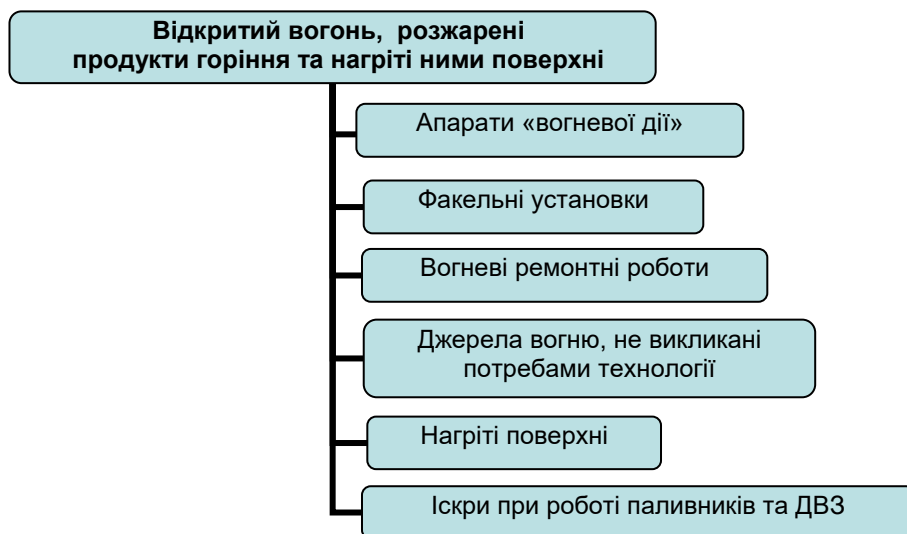
За природою походження, джерела запалювання поділяють на чотири групи:

- 1) відкритий вогонь, розжарені продукти горіння та нагріті ними поверхні;
- 2) теплові прояви механічної енергії;
- 3) теплові прояви електричної енергії;
- 4) теплові прояви хімічної енергії.

Основним методом аналізу джерел запалювання є метод виключення. За цим методом необхідно перерахувати всі відомі технологічні джерела запалювання відповідно до груп та відібрати з них тільки ті, які відповідають реальній технології.

### 5.1. Відкритий вогонь, розжарені продукти горіння та нагріті ними поверхні

Слід зазначити, що відкритий вогонь та розжарені продукти горіння мають хімічну природу, однак, через надзвичайну пожежну небезпеку, їх виокремлюють. Класифікація джерел запалювання цієї групи наведена у вигляді схеми (рис. 5.1).



**Рисунок 5.1** – Класифікація джерел запалювання, які спричинені відкритим вогнем, розжареними продуктами горіння та нагрітими ними поверхнями

#### Апарати «вогневої» дії

Апарати «вогневої» дії (трубчасті печі, реактори, сушарки, теплогенератори тощо) характеризуються наявністю палива, що горить, високонагрітої теплообмінної поверхні, розжарених конструктивних елементів паливника.

Температура горіння залежить від виду палива: для газоподібного вона перебуває в межах 1200...1400°C, для рідкого – 1100...1300°C, для твердого – 1000...1200°C. При таких температурах апаратів «вогневої» дії будь-які пошкодження і аварії сусідніх апаратів, що супроводжуються виходом назовні горючих речовин, призведуть до пожежі.

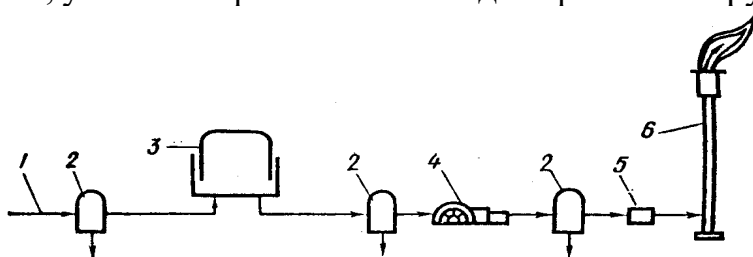
При проектуванні технологічних процесів із наявністю апаратів “вогневої” дії необхідно передбачати ізоляцію цих установок від можливого зіткнення з ними горючих парів і газів, що досягається:

- розташуванням апаратів “вогневої” дії у закритих приміщеннях, відособлених від інших апаратів;
- розташуванням на відкритих майданчиках між “вогневими” апаратами і пожежонебезпечними установками захисних перешкод (наприклад, розташування закритих будинків або глухої стіни).
- дотриманням пожежобезпечних регламентованих відстаней між апаратами;
- застосуванням парових завіс у тих випадках, коли неможливо забезпечити пожежобезпечну відстань.

### Факельні установки

На факельних установках спалюються викиди горючих газів і парів, які через певні причини вчасно не реалізовані, аварійні викиди від запобіжних клапанів чи інших контрольних запобіжних пристроїв, що встановлені на технологічній апаратурі, викиди продуктів з апаратів перед їх пропаркою, продувкою, ремонтом тощо.

Загальна факельна система підприємства складається (рис. 5.2.) з газопроводів, які беруть початок від апаратів, загального факельного газопроводу, компресора для перекачування газів, установки факельних викидів і факельної труби.



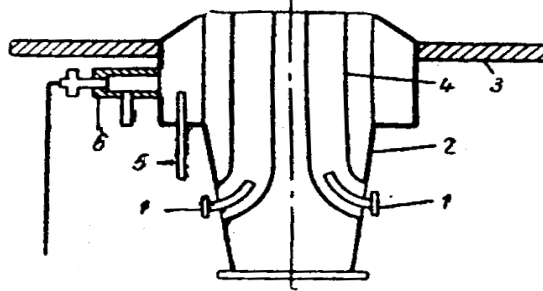
**Рисунок 5.2** – Схема загальної факельної системи підприємства:  
1 – колектор; 2 – відбійники конденсату; 3 – газгольдер; 4 – компресор;  
5 – вогнеперешкоджувач; 6 – факельна труба

Небезпека факельної системи як джерела запалювання зумовлена постійною наявністю відкритого факела полум'я. Неправильна будова факельних систем може призвести до небезпечного теплового впливу безпосередньо відкритого полум'я на сусіднє газонебезпечне технологічне обладнання, до інтенсивного іскроутворення в результаті неповного згоряння, до викиду горючого конденсату, до проникнення полум'я у факельну трубу, а також до загазованості довкілля при зриві полум'я.

Для запобігання небезпечного прояву відкритого полум'я факельної системи необхідне:

- раціонально розташовувати факельні труби залежно від рельєфу місцевості (перевага віддається підвищеним ділянкам території підприємства) і напрямку пануючих вітрів з врахуванням можливого розлітання іскор і максимального відхилення факела полум'я під впливом вітру;

- розрахунково визначити висоту факельних труб з врахуванням теплового випромінювання;
- передбачати безпечні протипожежні відстані між факельною трубою і вибухопожежонебезпечними будівлями, спорудами чи окремими апаратами;
- для запобігання зриву полум'я факела збільшувати швидкість руху газів, які подаються на спалювання; на факельній трубі влаштовувати захищений від вітру газовий пальник постійного (чергового) горіння (рис. 5.3).



**Рисунок 5.3** – Конструкція факельного пальника з паровими дюзами:

1 – парова дюза; 2 – корпус факельного пальника; 3 – захисний дашок; 4 – повітряна труба; 5 – термопара; 6 – черговий пальник

- підпалювати газову суміш в черговому пальнику з допомогою так званого „полум'я, що біжить”, (попередньо підготовлена горюча суміш підпалюється електрозапалом, і полум'я, переміщуючись вгору, підпалює газ пальника). Щоб зменшити утворення диму й іскор, до факельного пальника підводять водяну пару.

### Вогневі ремонтні роботи

Пожежна небезпека вогневих ремонтних робіт (електрогазозварювальних, різальних, паяльних, розігрівання бітумів і смол тощо) зумовлена наявністю відкритого полум'я, розжарених огарків електродів, нагрітих до високих температур поверхонь технологічного обладнання в місцях розігріву полум'ям, утворенням великої кількості іскор (крапель розплавленого металу). Зокрема, температура полум'я при газовому зварюванні сягає 3000°C, а при електродуговому зварюванні з використанням вугільних електродів – 6000°C. Іскри, які утворюються в процесі зварювання, мають температуру понад ніж 1700°C.

Для запобігання виникненню вказаного виду джерел запалювання необхідне дотримання заходів пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні.

**Джерела вогню, не викликані потребами технології** (паління, розведення багать, випалювання горючих відкладень в апаратах, використання паяльних ламп, факелів для відігрівання замерзлих труб тощо).

Пожежна небезпека полум'я обумовлена температурою факела і часом його впливу на горючі речовини. Наприклад, для багатьох горючих речовин займання можливе навіть від таких “малокалорійних” джерел як тліючий недопалок сигарети.

При проведенні ремонтних робіт часто використовують полум'я пальників і паяльних ламп, застосовують смолоскипи для відігрівання замерзлих труб, для освітлення при огляді рівня рідини в апаратах у темноті, розкладають вогнища для прогрівання ґрунту на території об'єктів із наявністю ЛЗР і ГР, спалюють відходи. Температура полум'я, а також кількість тепла, що при цьому виділяється, достатні для займання майже всіх горючих речовин.

Для запобігання прояву вказаного виду джерел запалювання необхідно:

- виключити утворення “малокалорійних” джерел запалювання (на об'єктах паління дозволяється тільки в спеціально обладнаних місцях);
- використовувати гарячу воду або водяну пару для відігрівання замерзлих ділянок технологічного обладнання замість факелів (обладнання відкритих стоянок автомобілів системами подачі гарячого повітря);
- здійснювати очищення трубопроводів і вентиляційних систем від горючих відкладень пожежобезпечними способами (пропарка і механічне очищення). У виняткових випадках допускається випалювання відходів після демонтажу трубопроводів на спеціально відведених ділянках і постійних місцях проведення вогневих робіт.

### **Нагріті поверхні**

Високонагріті продукти горіння – газоподібні речовини, що утворюються при горінні твердих, рідких і газоподібних речовин, досягають температури 1200 °С і більше. Пожежну небезпеку створює вихід високонагрітих продуктів через нещільності в кладці паливників, димових каналів, розігрів металевих викидних труб паливників та двигунів внутрішнього згорання.

Для запобігання небезпечного прояву високонагрітих продуктів горіння необхідне:

- влаштування протипожежних розділок та відступок у місцях прокладання димових та викидних труб через горючі конструкції;
- застосовування автоматичного регулювання температури високонагрітих продуктів горіння;
- контроль за станом кладки димових каналів і боровів при експлуатації паливників, за станом викидних труб ДВЗ, запобігання їх нещільностям і прогарам;
- захист високонагрітих поверхонь технологічного обладнання (камери ретурбендів) теплоізоляцією з захисними кожухами. Гранично допустима температура поверхні не повинна перевищувати 80% температури самозаймання горючих речовин, що обертаються у виробництві.

### **Іскри при роботі паливників та двигунів внутрішнього згорання**

Іскри, що виникають при роботі паливників та двигунів внутрішнього згорання, являють собою тверді розжарені частки палива або окалини в газовому потоці, які утворюються в результаті неповного згорання або механічного винесення горючих речовин і продуктів корозії. Температура такої твердої частки достатньо висока, але запас теплової енергії (Q) невеликий через малу масу іскри. Іскра здатна запалити тільки речовини, достатньо підготовлені до горіння (газопароповітряні суміші, осілий пил, волокнисті матеріали).

Паливники “іскрять” через конструктивні недоліки; через використання сорту палива, на який паливник не розрахований, через посилене дуття, через неповне згоряння палива, через недостатнє розпилення рідкого палива, а також через порушення термінів очищення печей.

Іскри і нагар при роботі ДВЗ утворюються при неправильному регулюванні системи подачі палива, електрозапалювання, при забрудненні палива мастилами і мінеральними домішками, при тривалій роботі двигуна з перевантаженнями, при порушенні термінів очищення вихлопної системи від нагару.

Пожежна небезпека іскор котельних, труб паровозів і тепловозів, інших машин значною мірою визначається їх розміром і температурою. Встановлено, що іскра  $d=2$  мм пожежонебезпечна, якщо її температура становить  $t \approx 1000$  °С;  $d=3$  мм – 800 °С;  $d=5$  мм – 600 °С.

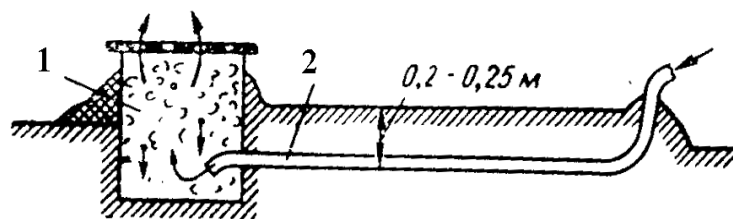
Для запобігання небезпечного прояву іскор паливників і двигунів необхідно здійснювати такі заходи:

- утримання в належному технічному стані паливників та двигунів;
- застосовування іскровловлювачів та іскрогасників при роботі паливників та двигунів.

Щоб запобігти утворенню іскор потрібно: автоматично підтримувати оптимальну температури горючої суміші, що подається на спалювання; автоматично регулювати оптимальне співвідношення між паливом і повітрям у горючій суміші; недопускати тривалу роботу паливників і двигунів у форсованому режимі, із перевантаженням; використовувати ті види палива, на які розраховані паливник і двигун; систематично очищати внутрішні поверхні паливників, димових каналів від сажі і випускних колекторів двигунів від нагаромасляних відкладень.

Для вловлення та гасіння іскор, що утворюються при роботі паливників і двигунів, застосовують іскровловлювачі й іскрогасники, робота яких базується на використанні гравітаційних (осаджувальних камер), інерційних (камер з перегородками, сітками, насадками), відцентрових (циклонних і турбінно-вихрових камер).

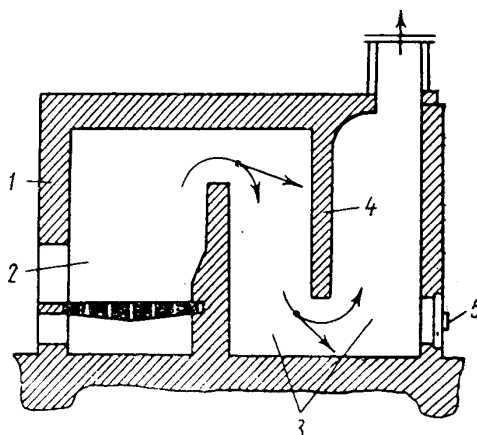
Найбільшого поширення на практиці набули іскровловлювачі гравітаційного (рис. 5.4), інерційного (рис. 5.5) і відцентрового типу (рис. 5.6). Ними обладнують, наприклад, димові канали димогазових сушарок, системи випуску вихлопних газів автомобілів та тракторів.



**Рисунок 5.4** – Іскровловлювач, захисна дія якого базується на використанні сили тяжіння:

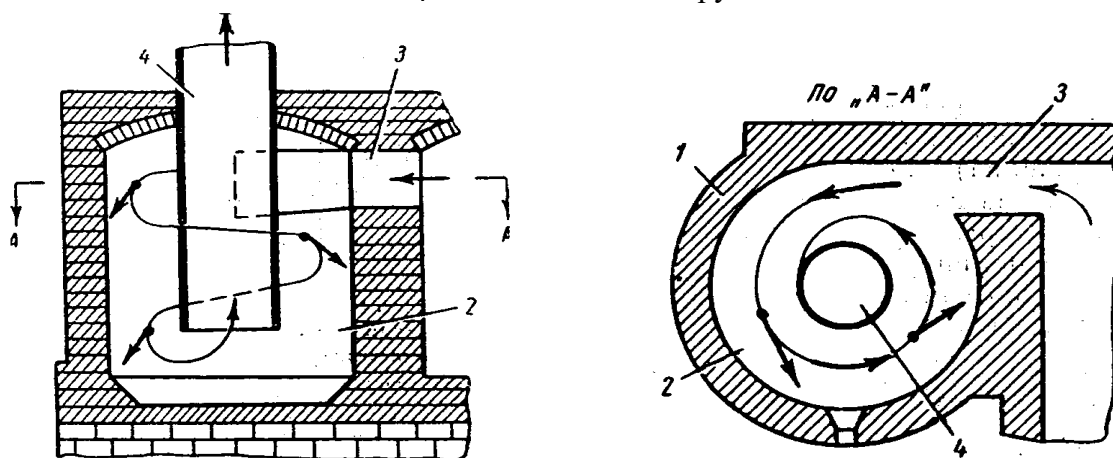
1 – іскроосадна камера; 2 – викидна труба двигуна





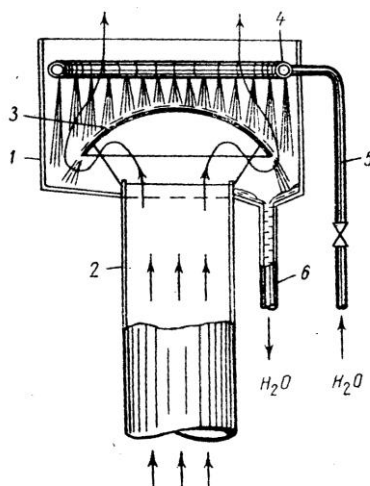
**Рисунок 5.5** – Іскровловлювач інерційної дії:

1 – корпус печі; 2 – камера горіння, 3 – іскроосадна камера; 4 – перегородка печі; 5 – дверцята очисного отвору



**Рисунок 5.6** – Іскровловлювач циклонного типу:

1 – корпус; 2 – камера циклона; 3 – тангенціальний вхід в камеру циклона; 4 – центральна труба для відведення очищених від іскор газів



**Рисунок 5.7** – Іскровловлювач з водяною завісою:

1 – корпус іскрогасника; 2 – димар (або труба викидних газів); 3 – відбивач; 4 – кільце – розпилювач води; 5 – трубопровід для підведення води; 6 – зливний трубопровід

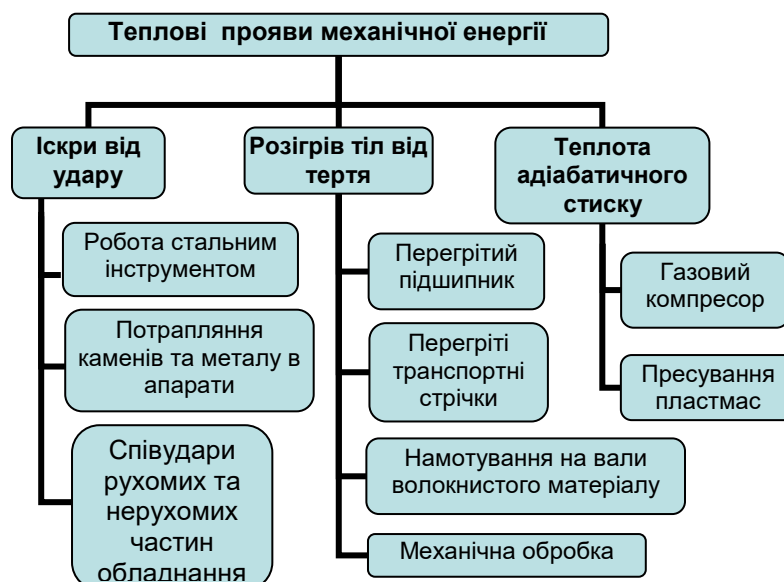
Для забезпечення глибокого очищення паливних газів від іскор на практиці часто застосовують не один, а декілька різних типів іскровловлювачів та іскрогасників, які з'єднують між собою послідовно. Багатоступінчасте

іскровловлення і гасіння ефективно у технологічних процесах сушіння подрібнених горючих матеріалів, де в якості теплоносія використовуються димові паливні гази в суміші з повітрям.

Проектування і виготовлення іскровловлювачів і іскрогасників проводиться з врахуванням параметрів, що характеризують пожежну небезпеку іскроутворення, тобто тепловмісту і тривалості охолодження іскри до безпечних температур.

## 5.2. Теплові прояви механічної енергії

При перетворенні механічної енергії у теплову тіла, які здійснюють роботу, нагріваються. Температура, яка при цьому досягається, залежить від температури тіл, що нагріваються, від теплоти тертя, від коефіцієнтів тертя, маси тіл, які дотикаються, питомої теплоємності матеріалу, коефіцієнтів теплопровідності, коефіцієнтів теплообміну з повітрям, температури довкілля. Класифікацію джерел запалювання, зумовлених тепловими проявами механічної енергії, показано на рис. 5.8.



**Рисунок 5.8** – Класифікація джерел запалювання, які зумовлені тепловими проявами механічної енергії

В умовах виробництва зміна температури тіла в результаті здійснення механічної роботи є пожежонебезпечною в таких випадках:

### Іскри від удару

Іскри при ударах твердих тіл виникають при роботі інструментом ударної дії (молоток, зубило тощо); при потраплянні в машини та апарати металевих предметів та каміння (апарати з мішалками, апарати для подрібнення, розпушування речовин); при співударах рухомих та нерухомих частин обладнання (вентилятори, ножові барабани волокновідділювальних і тіпальних машин, апарати з мішалками тощо).

Розміри іскор удару і тертя (розжарена до світіння частинка металу або каменю), як правило, не перевищують 0,5 мм, а температура їх знаходиться в межах температури плавлення металу.

Температура іскор нелегованих маловуглецевих сталей може досягати температури плавлення металу – близько 1550°C. У виробничих умовах від іскор удару займаються ацетилен, етилен, водень, оксид вуглецю, сірковуглець, метано-повітряна суміш і інші речовини. Чим більше в суміші кисню, тим інтенсивніше горить іскра, тим вища горючість суміші. Іскра, що летить, безпосередньо не запалює пилоповітряні суміші, але потрапивши на осілий пил або на волокнисті матеріали, викликає появу осередків тління. Так, на борошномельних, ткацьких і бавовнопрядильних підприємствах близько 50% усіх пожеж спричинені іскрами від ударів твердих тіл.

Іскри, що утворюються при ударах алюмінієвих тіл об сталеву окислену поверхню призводять до хімічної взаємодії з виділенням значної кількості тепла:  $2Al + Fe_2O_3 = Al_2O_3 + 2Fe + Q$ .

Через це тепло цієї збільшується тепловміст і температура іскри.

Температура іскор, що утворюються при співударі металів, і здатні вступати в хімічну взаємодію один з одним із вилученням значної кількості тепла, може перевищувати температуру плавлення і тому її визначають експериментально або розрахунком.

Кількість теплоти, що віддається іскрою (краплею металу) при охолодженні від початкової температури до температури самозаймання горючої суміші, можна виразити:

$$Q_i = V_k \rho_m C_k (t_n - t_{ccn}) ,$$

де  $Q_i$  – тепловміст іскри, Дж;  $V_k$  – об'єм краплі металу,  $m^3$ ;  $\rho_m$  – густина металу,  $кг/м^3$ ;  $C_k$  – питома теплоємність металу, Дж/кг·К;  $t_n$  – температура краплі металу наприкінці польоту, °С;  $t_{ccn}$  – температура самозаймання горючої речовини, °С.

Тривалість охолодження розжареної частинки визначають за формулою:

$$\tau = \frac{F_0}{\lambda_i} d_i^2 C_i \rho_m ,$$

де  $\tau$  – час охолодження іскри, с;  $F_0$  – критерій Фур'є;  $d_i$  – діаметр іскри, м;  $C_i$  – теплоємність металу іскри при  $t_{ccz}$  горючої речовини, Дж/кг·К;  $\rho_m$  – густина металу іскри при  $t_{ccz}$  горючої речовини,  $кг/м^3$ ;  $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності металу іскри, Вт/м·К.

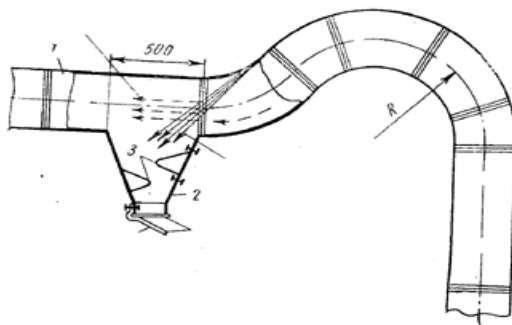
Запобігання утворенню іскор при ударах твердих тіл досягається такими методами:

– в місцях, де можливе утворення вибухонебезпечних сумішей, застосовувати іскробезпечні інструменти (іскробезпечні башмаки для гальмування залізничних цистерн, латунний інструмент для відкривання барабанів із карбідом кальцію на ацетиленових станціях). Іскробезпечними вважають інструменти, виконані з бронзи, фосфористої бронзи, латуні, берилію тощо.

– для запобігання потраплянню твердих тіл в апарати з ударними та

обертними процесами, на лініях надходження у них речовин встановлювати магнітні вловлювачі та вловлювачі каміння (рис. 5.9–5.12);

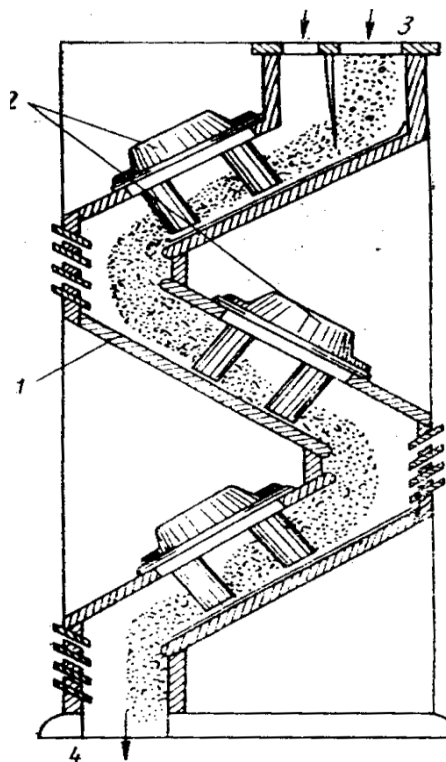
Для очищення бавовни-сирцю від каменів перед її надходженням в машини бавовноочисних заводів встановлюють каменевловлювачі гравітаційного типу чи інерційної дії (рис. 5.9).



**Рисунок 5.9** – Лінійний каменевловлювач інерційної дії:

- 1 – трубопровід пневматичної установки; 2 – каменевловлювач; 3 – похилі поверхні;  
4 – кришка для розвантаження камери

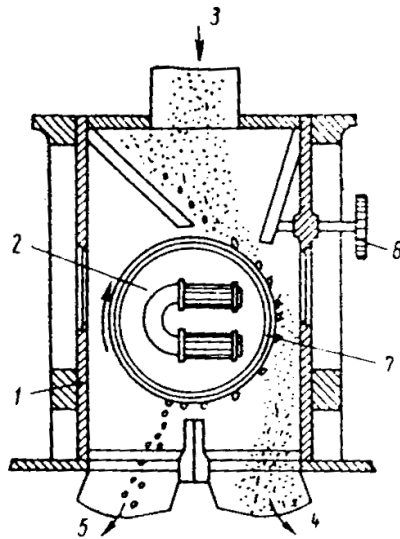
Металічні домішки з сипких і волокнистих матеріалів вловлюються магнітними сепараторами. Вони можуть бути з постійними магнітами і електромагнітами, з нерухомою і обертовою магнітною системою або з обертовим барабаном, з ручною і механізованою очисткою полюсів. Зокрема, на борошнорозмелювальних, круп'яних та комбікормових заводах широко застосовується магнітний апарат з ручним очищенням магнітних полюсів (рис. 5.10).



**Рисунок 5.10** – Магнітний апарат з постійними магнітами:

- 1 – корпус; 2 – система постійних магнітів; 3 – надходження продукту; 4 – вихід очищеного продукту

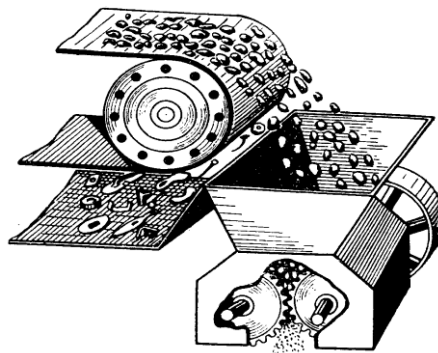
На рис. 5.11. показано розріз електромагнітного сепаратора з обертотим барабаном.



**Рисунок 5.11** – Електромагнітний сепаратор з обертотим барабаном:

1 – корпус; 2 – нерухомий електромагніт; 3 – потік продукту; 4 – трубопровід для очищеного продукту; 5 – трубопровід для вловлених домішок; 6 – регулювальний гвинт; 7 – обертотий барабан з немагнітного матеріалу

Схему роботи електромагнітного сепаратора з барабаном, який обертається від транспортерної стрічки, показано на рис. 5.12.



**Рисунок 5.12** – Схема роботи електромагнітного сепаратора з барабаном, який обертається від транспортерної стрічки

Ефективність роботи магнітного вловлювача залежить від місця його розташування, швидкості руху продукту, рівномірності і товщини його шару, характеру домішок.

Магнітні вловлювачі встановлюють, як правило, на початку технологічної лінії перед машиною ударної дії, потрапляння металічних частин у яку може викликати займання паро- і газоповітряних сумішей при відкладеному пилу.

Якщо є небезпека потрапляння в машину твердих немагнітних домішок, здійснюють, по-перше, детальне сортування сировини, по-друге, внутрішню поверхню машин, об яку ці домішки можуть вдаритися, футерують м'яким металом, гумою або пластмасою.

– для запобігання утворенню іскор від співударів рухомих та нерухомих механізмів машин необхідно старанно регулювати і балансувати вали, правильно підбирати підшипники, перевіряти відстані між рухомими і нерухомими частинами машин, надійність їх кріплення, що виключає можливість поздовжніх переміщень; запобігати перевантаженню машин.

– застосовувати іскробезпечні вентилятори для транспортування газо-, паро- та пилоповітряних сумішей;

– для запобігання утворенню іскор кожух вентилятора з внутрішньої сторони покривають шаром м'якого металу. Ротор вентилятора балансують і надійно закріплюють, але при цьому слідкують за тим, щоб лопаті ротора при обертанні не вдарились в кожух. Величина щілини між краєм вхідного патрубка і краєм ротора приймається в межах 1% діаметра колеса.

– покриття підлоги у приміщеннях вибухопожежонебезпечних категорій виконувати з негорючих матеріалів та таких, що під час ударів не дають іскор. Конструкція вікон та дверей у таких приміщеннях повинна виключати можливість іскроутворення.

### **Розігрів тіл від тертя**

Будь-яке переміщення тіл, що стикаються одне з одним, вимагає витрати енергії на подолання роботи сил тертя. Ця енергія в основному перетворюється в теплоту. При нормальному стані і правильній експлуатації частин, що труться, тепло, яке виділяється ( $Q_{тр}$ ), своєчасно відводиться спеціальною системою охолодження ( $Q_{ох}$ ), а також розсіюється в навколишнє середовище:  $Q_{тр} = Q_{ох} + Q_{нс}$ . Порушення цієї рівності, тобто збільшення тепловилучення або зменшення тепловідводу і тепловтрат, веде до підвищення температури тіл, що труться. З цієї причини відбувається займання горючого середовища або матеріалів від перегрівання підшипників машин, сильно затягнутих сальників, барабанів і транспортних стрічок, шківів і приводних пасів, волокнистих матеріалів при намотуванні їх на вали машин і апаратів, що обертаються. Розглянемо детальніше вказані чинники:

### **Перегрівання підшипників**

Підшипники перевантажених та швидкісних валів при різноманітних порушеннях роботи (відсутності охолодження та змащення, забрудненні поверхонь, перекосі валів, перевантаженні машин, надмірному затягуванні підшипників тощо) перегріваються до небезпечних температур – вище температури самозаймання горючої суміші, яка контактує з підшипником, або температури самозаймання горючого пилу, який осів на його корпусі.

Максимальну температуру підшипника ковзання при відсутності змащування та примусового охолодження визначають за формулою:

$$t_{ниду.} = t_{нс} + \frac{Q_{ТР}}{\alpha F},$$

де  $t_{ниду.}$  – максимальна температура підшипника, °С;  $t_{нс}$  – температура навколишнього середовища (повітря), °С;  $Q_{ТР}$  – потужність сил тертя в підшипнику, Вт, яку визначають за формулою:

$$Q_{TP} = \pi \cdot f \cdot N \cdot d \cdot n,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя, що визначається в залежності від матеріалу приймається від 0,07 до 0,12;  $N$  – радіальна сила, яка діє на підшипник, Н;  $d$  – діаметр шийки вала, м;  $n$  – частота обертання вала,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну між поверхнею підшипника і навколишнім середовищем,  $[\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}]$ , який визначають за формулами:

$$\text{при } t_{\text{нiдш.}} > 60^\circ\text{C } \alpha = 11,63 \exp(0,0023t_n);$$

$$\text{при } t_{\text{нiдш.}} \leq 60^\circ\text{C } \alpha = 4,07 \sqrt[3]{t_n - t_{\text{nc}}};$$

$F$  – поверхня корпусу підшипника, яка омивається повітрям,  $\text{м}^2$ .

Для запобігання перегріванню підшипників необхідно:

- замість підшипників ковзання доцільно застосовувати підшипники кочення, особливо для навантажених валів та валів, які швидко обертаються;
- влаштовувати автоматичні системи охолодження з застосуванням у якості холодоагенту масел або води;
- здійснювати своєчасне і якісне технічне обслуговування (систематичне змащування, запобігання надмірному затягуванню, ліквідація перекосів, очищення поверхні від забруднень);
- здійснювати контроль за температурою підшипників за допомогою приладів автоматики, візуальний контроль температури здійснюється нанесенням термочутливих фарб, що змінюють свій колір при нагріванні корпусу підшипника.

### **Перегрівання транспортних стрічок, норій та приводних пасів в результаті буксування**

На промислових об'єктах іноді трапляється займання транспортних стрічок і приводних пасів машин і агрегатів. Таке явище відбувається в основному в результаті тривалого проковзування паса або стрічки відносно шківа через невідповідність між переданим зусиллям і натягом стрічки. При буксуванні вся енергія витрачається на тертя стрічки об шків, в результаті чого виділяється значна кількість тепла. Найбільш часто буксування відбувається при перевантаженнях або слабкому натягу паса.

Температуру нагрівання стрічки при її буксуванні і ведучого барабана транспортера чи приводних пасів можна визначити за аналогічними формулами. В цьому випадку:  $N$  – сила натягу стрічки, Н;  $d$  – діаметр барабана, м;  $F$  – поверхня барабана,  $\text{м}^2$ .

Для запобігання перегріванню транспортних стрічок необхідно:

- не допускати перевантаження машин, що мають транспортні стрічки та пасові передачі, контролювати ступінь натягу стрічок, пасів та їх стан;
- не допускати завалів башмаків норій продукцією шляхом застосування пристроїв та пристосувань, що автоматично сигналізують про перевантаження або зупиняють рух стрічки з ковшами при завалі „башмаків” норій;
- замінювати плоскопасові передачі, де це можливо, клинопасовими;

## **Нагрівання волокнистих матеріалів при намотуванні їх на вали**

На об'єктах, де обертаються волокнисті чи солом'яні матеріали (прядильні фабрики, льонозаводи, при експлуатації комбайнів), трапляється їх намотування на вузли, що обертаються, наприклад, на вали біля підшипників, що супроводжується поступовим ущільненням маси, а потім сильним нагріванням її при терті, обвуглюванням і займанням.

Для запобігання цьому обертові вали необхідно захищати від безпосереднього зіткнення з матеріалом шляхом застосування вільно насаджених втулок, циліндричних і конічних кожухів, протинамотувальних щитків тощо, встановлювати мінімальні зазори між цапфами вала та підшипниками.

### **Перегрівання твердих горючих матеріалів при механічній обробці**

Механічна обробка (різання, стругання, фрезерування, шліфування) твердих матеріалів пов'язана з подоланням значних сил тертя і, відповідно, зумовлює нагрівання матеріалу, відходів, різального інструменту. Основними чинниками, які впливають на розігрів матеріалу при його механічній обробці, є швидкість різання, подача інструмента (товщина стружки), якість загострення інструмента, механічні та теплотехнічні властивості матеріалу. При нормальних режимах різання і правильному загостренні різального інструменту температура нагрівання є безпечною, однак, відхилення від норми може спричинити значне її підвищення.

Для запобігання розігріву при механічній обробці необхідно дотримуватись технологічного режиму різання (швидкість, величина подачі), не допускати використання тупих інструментів, обладнувати верстати системою охолодження, подачу води або іншої рідини блокувати із системою пуску верстата. У верстатів для розпилювання, фрезерування і шліфування пожежонебезпечних матеріалів (магнієвих сплавів) перед початком роботи перевіряють кріплення різального інструменту і відсутність деформації вала. Кожухи місцевої витяжки пилу і відходів розташовують так, щоб різальний інструмент їх не торкався.

### **Теплота адіабатичного стиску**

Зміна об'єму газоподібних тіл чи форми пластмасових виробів вимагає затрат механічної енергії, при цьому виділяється тепло, яке нагріває як речовину, так і конструктивні елементи компресорів та пресів. Несправність або відсутність системи охолодження компресорів може призвести до їх руйнування. Ступінь розігріву і можливість виникнення при цьому джерела запалювання залежить від умов переходу механічної енергії у теплову. Температура газу при стисненні в компресорі і відсутності охолодження визначається за формулою:

$$T_{\kappa} = T_n \cdot \left( \frac{P_{\kappa}}{P_n} \right)^{\frac{(K-1)}{K}}$$



де  $T_k, T_n$  – температура газу наприкінці і на початку стиснення, К;  $P_k, P_n$  – тиск газу наприкінці і на початку стиснення, Па;  $K$  – показник адіабати (для одноатомних газів  $K = 1,67$ ; для двоатомних газів  $K = 1,4$ ; для багатоатомних газів показник адіабати обчислюють за формулою:  $k = \frac{C_p}{C_v}$ , де  $C_p, C_v$  – ізобарна та ізохорна питомі теплоємності газів, Дж/кг · К).

Виходячи з умов безпечного режиму експлуатації компресора, ступінь стиснення газу і число ступенів стиснення визначають за формулами:

$$\varepsilon \leq \left( \frac{t_{p.без} + 273}{t_n + 273} \right)^{\frac{n-1}{n}} ; \quad k \geq \frac{\lg P_k - \lg P_{II}}{\lg \varepsilon} ,$$

де  $\varepsilon$  – допустимий ступінь стиснення газу в компресорі;  $t_{p.без}$  – безпечна температура газу, °С; за  $t_{p.без}$  приймають мінімальне значення двох величин: температури, знайденої з виразу:

$$t_{p.без.} \leq 0,8t_{ccз} ,$$

де  $t_{ccз}$  – температура самозаймання газу, який стискається, або допустима температура мастила в картері компресора;  $k$  – число ступенів стиску компресора.

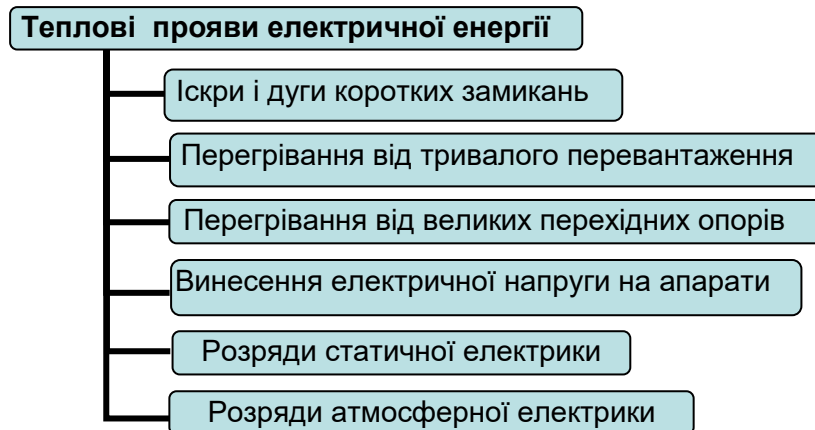
Запобігання нагріванню газів при стисненні їх у компресорах досягається шляхом:

- застосування приладів автоматичного контролю та захисту від підвищених тисків на нагнітальних лініях і від понижених – на всмоктувальних;
- встановлення запобіжних клапанів на нагнітальних лініях;
- поділу процесу стиснення газу на декілька ступенів; влаштування систем охолодження газу на кожному ступені стиснення;
- контроль температури газу та охолоджувальної води і застосування автоматики, що зупиняє компресори при підвищенні температури газу понад норму або припиненні подачі води;
- систематичного очищення теплообмінної поверхні холодильників, нагнітальних труб компресорів від нагаромасляних відкладень, дотримання норм витрат мастила, з метою запобігання потрапляння його в циліндри.

### 5.3. Теплові прояви електричної енергії

В умовах виробництва теплові прояви електричної енергії можуть виникати у вигляді електричних іскор і дуг (при коротких замиканнях, пробоях шару ізоляції), надмірного перегрівання двигунів, машин, контактів, окремих ділянок електричних мереж і електричного обладнання, а також апаратів при перевантаженнях і великих перехідних опорах, у вигляді перегрівання в результаті теплового прояву струмів індукції і самоіндукції, при іскрових розрядах статичної і атмосферної електрики, в результаті нагрівання речовин і матеріалів від діелектричних втрат енергії.

Класифікацію джерел запалювання, зумовлених тепловими проявами електричної енергії, показано на рис. 5.13.



**Рисунок 5.13** – Класифікація джерел запалювання, які зумовлені тепловими проявами електричної енергії

### Іскри і дуги коротких замикань

При короткому замиканні провідників електричного струму чи замиканні на землю утворюється електрична дуга, іскри і виділяється велика кількість тепла. Від короткого замикання може спалахнути ізоляція, розплавитись провідники чи деталі електричних машин і апаратів з розбризкуванням частинок розплавленого металу.

Температура провідника, що нагрівається струмом короткого замикання, обчислюється за формулою:

$$t_{np} = t_n + \frac{I_{к.з}^2 \cdot R \cdot \tau_{к.з}}{C_{np} \cdot m_{np}},$$

де  $t_{np}$  – температура провідника, °С;  $t_n$  – початкова температура провідника, °С;  $I_{к.з}$  – струм короткого замикання, А;  $R$  – опір провідника, Ом;  $\tau_{к.з}$  – час короткого замикання, с;  $C_{np}$  – теплоємність провідника, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>;  $m_{np}$  – маса провідника, кг.

Якщо температура провідника і час короткого замикання більші за температуру самозаймання і час, який необхідний для нагрівання горючого середовища до температури, яка становить 80% від величини температури самозаймання, то це джерело є джерелом запалювання середовища, яке аналізується.

Розмір крапель металу при короткому замиканні електропроводки і плавленні нитки розжарення електроламп сягає 3 мм, а при електрозварюванні – 5 мм. Температура дуги при електрозварюванні сягає 4000°С, тому дуга є джерелом запалювання усіх горючих речовин. Температура крапель металу при електрозварюванні і при плавленні нитки розжарення електроламп залежить від виду металу і дорівнює температурі плавлення металу. Температура крапель металу при короткому замиканні електропроводки перевищує температуру плавлення металу і, наприклад, для алюмінію сягає 2500°С. Температуру краплі металу наприкінці польоту обчислюють за формулою:

$$t_k = \frac{Q_k}{m_k \cdot c_k},$$

де  $t_k$  – температура краплі металу наприкінці польоту, °С;  $Q_k$  – тепловий запас краплі металу наприкінці польоту, Дж;  $m_k$  – маса краплі металу, кг;  $c_k$  – питома теплоємність краплі металу при температурі, Дж·кг<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup>.

Для захисту устаткування від струмів короткого замикання використовують швидкодіючі запобіжники або автоматичне вимикання.

### **Перегрівання від тривалого перевантаження**

Перевантаження електричних мереж та машин зумовлюється збільшенням механічного навантаження на електродвигун, неправильним вибором перерізу жил провідників при під'єднанні до мережі споживачів, роботою трифазних двигунів на двох фазах, а також приєднанням до електричних мереж додаткових струмоприймачів, на які мережі не розраховані. Збільшення сили струму в мережах і машинах призводить до вилучення великої кількості тепла, займання ізоляції. Профілактика такого виду джерела запалювання полягає у запобіганні технологічним перевантаженням машин і апаратів та у контролі за струмовими навантаженнями.

### **Перегрівання від великих перехідних опорів**

Будь-яке з'єднання елементів електричного кола (провідників один з одним, провідників з апаратами, приладами, машинами) має перехідний опір. При достатній площі контакту та силі притискання їх один до одного виникає щільне прилягання контактуючих поверхонь, що виключає чи зменшує окиснення. У такому випадку значення перехідного опору співрозмірне з опором провідників. Якщо вказані умови не виконуються, то перехідний опір стає великим, а в місцях неякісних контактів виділяється велика кількість теплоти, яка може стати джерелом запалювання. Найбільш небезпечними з точки зору теплоутворення є холодні скрутки жил проводів в з'єднувальних та розгалужувальних коробках, великі перехідні опори виникають і у гвинтових з'єднаннях проводів з приймачами.

До умов, які спричиняють виникнення великих перехідних опорів належить: вплив хімічно активного середовища (вологи, парів кислот, лугів, підвищеної температури); здатність до окиснення металів у контактах, втома металів у з'єднаннях, що веде до послаблення сили взаємного притискання контактів; відсутність періодичних оглядів та підтягувань контактів у з'єднанні.

### **Винесення електричної напруги на апарати**

Внаслідок дотику струмонесучих елементів електричної мережі з апаратами чи конструкціями будівель та споруд можливе винесення електричного потенціалу.

До причин виникнення витоку струму відносять: механічне пошкодження ізоляції струмопровідників при дотиканні їх до конструкцій та технологічного обладнання (особливо з гострими кутами та краями), обрив дротів повітряних

ліній та їх падіння на дахи будівель та споруд; приєднання зворотного проводу електрозварки до металевих конструкцій та комунікацій будівель; механічне пошкодження ізоляції проводів під час прокладання і накладання штукатурки металевим інструментом чи кріплення їх до поверхні конструкцій, некваліфіковане приєднання проводів до електроприймачів. Значний вплив на силу струмів витоку має вологість повітря та конструкцій, що зумовлене більшою електропровідністю вологого середовища у порівнянні з сухим.

### **Розряди статичної електрики**

Розряди статичної електрики можуть виникнути при транспортуванні рідин, газів, пилу, при ударах, подрібненні, розпиленні і аналогічних процесах механічного впливу на матеріали і речовини, що є діелектриками. Потенціали заряду досягають 10 кВ і більше. Знак заряду залежить від співвідношення діелектричної проникності матеріалу пилу і матеріалу тіла, об який вони труться. Енергію іскри, що виникає під дією напруги між пластиною і будь-яким заземленим предметом, визначають за формулою:

$$Q_i = 0,5CU^2,$$

де  $Q_i$  – енергія іскри, Дж;  $C$  – ємність конденсатора, Ф;  $U$  – напруга, В. Якщо  $Q_i \geq Q_{\min}$ , то іскру розряду статичної електрики розглядають як джерело запалювання.  $Q_{\min}$  – мінімальна енергія запалювання горючого середовища, Дж.

Реальну небезпеку представляє “контактна” електризація людей, що працюють із діелектричними матеріалами, що рухаються. При зіткненні людини з заземленим предметом виникають іскри з енергією від 2,5 до 7,5 мДж.

Для запобігання джерел запалювання від виникнення розрядів статичної електрики необхідно передбачити ряд заходів: заземлення технологічного обладнання, підвищення вологості повітря, застосування антистатичних домішок у найбільш ймовірних місцях генерування зарядів, іонізація середовища в апаратах та обмеження швидкості руху рідин, що електризуються.

### **Розряди атмосферної електрики (блискавка)**

- Прямі удари блискавки

Відсутність, несправність чи неправильна експлуатація систем блискавкозахисту будівель, споруд, зовнішніх установок в зонах активного прояву грозової діяльності може спричинити ураження їх прямими ударами блискавки, особливо за наявності масивних високих металевих конструкцій чи апаратів з викидними та дихальними лініями. Небезпека прямого удару блискавки полягає в контакті горючого середовища із каналом блискавки, температура в якому сягає 20000°C при тривалості дії близько 100 мкс. Від прямого удару блискавки спалахують всі горючі суміші.

- Повторні впливи блискавки

Небезпека повторного впливу блискавки полягає в іскрових розрядах, що виникають у результаті індукційного й електромагнітного впливу атмосферної електрики на виробниче обладнання, трубопроводи і будівельні конструкції. Енергія іскрового розряду перевищує 250 мДж і достатня для займання горючих речовин із  $Q_{\min} = 0,25$  Дж.

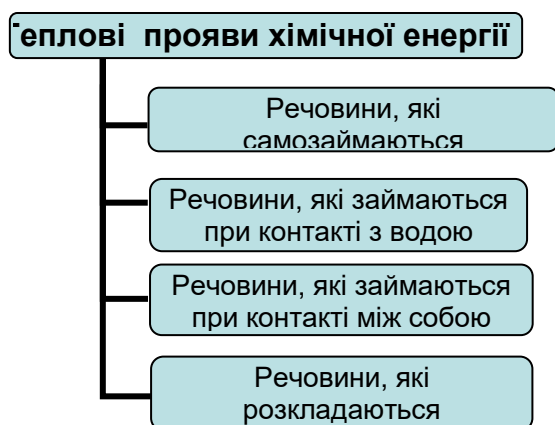
- Занесення високого потенціалу

Занесення високого потенціалу в будівлю відбувається по металевих комунікаціях не тільки при їх прямому ударі блискавкою, але і при розташуванні комунікацій у безпосередній близькості від блискавковідводу. При недотриманні безпечних відстаней між блискавковідводом і комунікаціями енергія можливих іскрових розрядів сягає значень 100 Дж і більше, тобто є достатньою для займання практично всіх горючих речовин.

Для запобігання виникненню джерел запалювання від розрядів атмосферної електрики необхідно здійснювати захист окремо розташованих будівель, споруд, апаратів від прямих ударів блискавки блискавковідводами і захистом від повторних її впливів.

### 5.4. Теплові прояви хімічної енергії

Хімічні реакції, які протікають з виділенням великої кількості тепла, потенційно небезпечні для виникнення пожежі або вибуху, оскільки можливий неконтрольований розігрів речовин, що реагують, заново утворюються або розташовані поруч. В умовах виробництва та зберігання горючих речовин трапляється велика кількість таких сполук, контакт яких з повітрям або водою, а також їх взаємний контакт може стати причиною виникнення пожежі. Класифікацію джерел запалювання, зумовлених тепловими проявами хімічної енергії, показано на рис. 5.14.



**Рисунок 5.14** – Класифікація джерел запалювання, які зумовлені тепловими проявами електричної енергії

Аналізуючи можливі джерела запалювання з цієї причини, необхідно виокремити:

#### **Речовини, які самозаймаються на повітрі**

В умовах виробництва, речовини, які перебувають в апаратах, можуть бути нагріті до температур, що перевищують температури їх самозаймання. Так, продукти піролізу газу при одержанні етилену з нафтопродуктів мають температуру самозаймання в межах 530-550°C, а виходять із печей піролізу при

температурі 850°C. Мазут із температурою самозаймання 380–420°C на установках термічного крекінгу нагрівається до 500°C; бутан і бутилен, що мають температуру самозаймання відповідно 420°C і 439°C, при одержанні бутадієну нагріваються до 550 – 650°C. При виході назовні цих речовин відбувається їх самозаймання.

В технологічних процесах використовують речовини, які мають низьку температуру самозаймання: триетилалюміній ( $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ) – –68°C; диетилалюмінійхлорид ( $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ ) – –60°C; триізобутилалюміній – –40°C; фтористий водень, рідкий і білий фосфор – нижче кімнатної. При контакті їх з повітрям відбувається займання.

Профілактика займання забезпечується виключенням їх контакту з повітрям шляхом надійної герметизації технологічного обладнання і запобігання його пошкодженню.

Ряд речовин, таких як рослинні масла і тваринні жири, кам'яне і деревне вугілля, сульфід заліза, деякі сорти сажі, порошкоподібні метали (алюміній, цинк, титан, магній), сіно, зерно в силосах тощо, при контакті з повітрям здатні до самозаймання. Основними причинами цього явища є здатність вказаних матеріалів до окиснення, адсорбції, що відбуваються з виділенням тепла, а також здатність вологих рослинних матеріалів до мікробіологічного самозаймання. Воно починається при нормальній температурі навколишнього середовища або після деякого нагрівання.

Контакт самозаймистих хімічних речовин із повітрям відбувається при пошкодженні тари, розливі рідини, розфасуванні речовин, при сушінні, відкритому зберіганні твердих подрібнених, а також волокнистих матеріалів, при спорожненні резервуарів з нафтою та нафтопродуктами, коли всередині є самозаймисті відкладення.

Умови процесу теплового самозаймання деяких горючих речовин і матеріалів (рослинних масел, тваринних жирів, кам'яного та деревного вугілля, торфу, сажі, оліфи, сіна, силосу, цинкового, магнієвого пилу тощо) визначають із таких виразів:

$$\lg t_c = A_p + n_p \lg S,$$
$$\lg \tau_c = \frac{1}{n_p} (A_B - \lg t_c)$$

де  $t_c$  – мінімальна температура середовища, при якій спостерігається самозаймання речовини, °C;  $A_p$ ,  $n_p$ ,  $A_B$ ,  $n_B$  – емпіричні константи, значення яких визначаються за довідковими даними;  $S$  – питома поверхня матеріалу,  $\text{м}^{-1}$ ;  $\tau_c$  – тривалість процесу самонагрівання матеріалу до його самозаймання, год.

Профілактику самозаймання речовин у виробничих умовах забезпечують шляхом зменшення швидкості протікання хімічних реакцій і біологічних процесів, а також усуненням умов для акумуляції тепла такими методами:

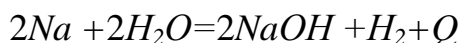
- зменшення вологості при зберіганні речовин і матеріалів;
- зменшення температури зберігання речовин і матеріалів (зерна, комбікормів) шляхом штучного охолодження; вентилявання повітрям сіна та інших волокнистих рослинних матеріалів; періодичне перемішування речовин при їх тривалому зберіганні;

- зберігання речовин (харчових продуктів) в середовищі з пониженим вмістом кисню;
- зменшення питомої поверхні контакту речовин, що самозаймаються, з повітрям (брикетування, гранулювання порошкоподібних речовин); обмеження розмірів штабелів, скупчень речовин; ущільнення вугілля в штабелі;
- пасивування хімічно активних речовин, наприклад технічного вуглецю, шляхом часткової і постійної їх дезактивації киснем повітря;
- використання антиокислювачів і консервантів (при зберіганні комбікормів); усунення контакту з киснем повітря і хімічно активними речовинами (пероксидними сполуками, кислотами, лугами) шляхом роздільного зберігання речовин, що самозаймаються, в герметичній тарі;
- зменшення інтенсивності утворення горючих відкладень в технологічному обладнанні; періодичне очищення технологічного обладнання від горючих відкладень, зокрема, запобігання самозайманню сірчистих відкладень, як найбільш специфічних для виробничої апаратури, досягається хімічним очищенням від сірководню речовин, що надходять на обробку, поступовим окисненням відкладень, що утворилися, парою, із доданням 0,5 % повітря, заповненням апаратів водою і поступовим зниженням її рівня, очищенням стінок апаратів при постійному змочуванні водою і утилізацією очищених відкладень.

Введення інгібіторів, дотримання встановлених температурних режимів запобігає утворенню термополімерів, схильних до самозаймання.

### **Речовини, які займаються при контакті з водою**

До речовин, які займаються при контакті з водою, відносять лужні метали, карбід кальцію, карбіди лужних металів, сірчистий натрій тощо. Тепло, що при цьому виділяється, може викликати запалювання речовин, що утворюються, або розташовані поблизу зони реакції горючих речовин. Лужні метали при взаємодії з водою утворюють горючі газу, що займаються від теплоти реакції:



При взаємодії невеликої кількості (3...5 г) калію і натрію з водою температура становить 600...650°C. Якщо взаємодіють більші шматки, відбуваються вибухи з розбризкуванням розплавленого металу. У дисперсному стані лужні метали спалахують у вологому повітрі.

Деякі речовини, наприклад негашене вапно, є негорючими, але теплота їх реакції з водою може нагріти горючі матеріали, що розташовані поряд, до температури самозаймання. Так, при контакті води з негашеним вапном температура в зоні реакції може сягати 600°C:  $Ca + H_2O = Ca(OH)_2 + Q$

Небезпечний контакт із водою алюмінійорганічних сполук, тому що їх взаємодія з водою відбувається з вибухом. Вибухи або посилення пожежі, що почалася, можуть виникнути при спробах гасити подібні речовини водою або піною.

При зберіганні та використанні цих речовин необхідно здійснювати захист від контакту з водою і повітрям підвищеної вологості.

### **Речовини, які займаються при контакті між собою**

Займання речовин може відбуватись при дії окисників на органічні речовини. У якості окисників виступають галогени, оксиди азоту, азотна кислота, кисень, перманганат калію, пероксиди натрію та барію, хромовий ангідрид тощо. Контакт між вказаними речовинами призводить до взаємодії, яка супроводжується виділенням тепла і може викликати займання. Деякі суміші окисників і горючих речовин здатні займатися при дії на них сірчаної або азотної кислоти, чи невеликої кількості вологи.

Реакції взаємодії окисника з горючою речовиною сприяють тонкодисперсність речовин, їх підвищена початкова температура, а також наявність ініціаторів хімічного процесу. У деяких випадках реакції мають характер вибуху.

Пожежам, які спричинені займанням речовин при взаємному контакті запобігають роздільним складуванням, а також усуненням причин їх аварійного виходу з апаратів і трубопроводів.

Сумісність хімічних речовин при їх зберіганні і протипожежні вимоги до складів хімічних речовин регламентуються нормами і правилами (Правилами пожежної безпеки в Україні).

### **Речовини, які розкладаються з вибухом при нагріванні, ударі, терті**

Нестійкі за природою речовини, як правило, ендотермічні сполуки, такі як селітри, ацетилен, пероксиди, гідропероксиди, карбіди деяких металів, ацетиленіди, вибухові речовини, здатні розкладатися з часом чи під впливом температури, тертя, удару, інших чинників.

Порушення технологічного регламенту при виробництві, використанні чи зберіганні таких речовин, вплив на них поблизу розташованих джерел тепла, тепло ймовірної пожежі можуть призвести до вибухового розкладання.

Запобігання займанню речовин, схильних до вибухового розкладу, забезпечують шляхом дотримання технологічного режиму, захисту від нагрівання до критичних температур, механічних впливів (тертя, ударів, тиску).

Таким чином, проаналізувавши можливі джерела запалювання для конкретного технологічного процесу, можна встановити найбільш ймовірне місце виникнення можливої пожежі.

### **Запитання та завдання для самоконтролю**

1. Сформулюйте визначення джерела запалювання.
2. Які параметри характеризують джерело запалювання?
3. За яких умов нагріте тіло є джерелом запалювання?
4. Класифікація джерел запалювання.
5. Охарактеризуйте небезпеку відкритого вогню, розжарених продуктів горіння та нагрітих ними поверхонь.
6. Заходи, які запобігають розповсюдженню відкритого вогню, розжарених продуктів горіння та нагрітих ними поверхонь.



7. Назвіть види вогневих ремонтних робіт та охарактеризуйте їх пожежну небезпеку.
8. Назвіть види теплових проявів механічної енергії та охарактеризуйте їх небезпеку.
9. Заходи, які запобігають поширенню теплових проявів механічної енергії.
10. Назвіть заходи, які передбачені Правилами пожежної безпеки в Україні, для запобігання утворенню іскор при ударах твердих тіл.
11. Проаналізувати вибухопожежну небезпеку процесу стиснення аміаку в одноступінчастому компресорі з точки зору можливості виникнення джерела запалювання. Кінцевий тиск стиснення в компресорі становить 0,4 МПа, початковий тиск – атмосферний, початкова температура повітря – 20°C. Температура спалаху мастила, що використовується для змащування компресора – 210°C, показник адіабати аміаку  $k = 1,31$ .
12. Показати можливість виникнення джерела запалювання у приміщенні, де обертається сірковуглець (температура самозаймання 102°C) від перегрітого корпусу підшипника в результаті порушення режиму змащування. Діаметр вала 40 мм; коефіцієнт теплообміну між поверхнею підшипника та середовищем 50 Вт/(м<sup>2</sup>К); температура навколишнього середовища 25°C; коефіцієнт тертя 0,09; радіальна сила, що діє на підшипник 4000 Н; частота обертання вала 1,5 с<sup>-1</sup>; поверхня корпусу підшипника 0,08 м<sup>2</sup>.
13. Назвіть види теплових проявів електричної енергії та охарактеризуйте їх небезпеку.
14. При яких аварійних режимах роботи електрообладнання може виникнути джерело запалювання?
15. Що означає неправильний вибір електрообладнання?
16. У яких технологічних процесах виникає статична електризація дисперсних матеріалів?
17. Заходи для запобігання поширенню теплових проявів електричної енергії.
18. Назвіть види теплових проявів хімічної енергії та охарактеризуйте їх небезпеку.
19. Наведіть приклади речовин, які займаються при контакті з водою чи вологою повітря.
20. Наведіть приклади речовин, які займаються при контакті з повітрям.
21. Наведіть приклади речовин, які займаються при контакті між собою.
22. Наведіть приклади речовин, які розкладаються з вибухом в результаті механічної дії або дії підвищеного тиску та температур.
23. Заходи для запобігання виникненню теплових проявів хімічної енергії.
24. Визначити температуру і час, при яких відбудеться самозаймання повсті будівельної, складеної в штабель розмірами 2х3х4м при умові розташування штабеля на теплоізолюваній підлозі. Значення коефіцієнтів:  $A_p = 1,729$ ;  $n_p = 0,249$ ;  $A_b = 2,350$ ;  $n_b = 0,140$ .

## РОЗДІЛ 6

### КАТЕГОРІЇ ПРИМІЩЕНЬ, БУДИНКІВ І ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ І ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

Прийнята в Україні система категорювання виробничих приміщень, будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою визначає комплекс пожежно-технічних заходів, спрямованих на убезпечення людей і збереження матеріальних цінностей. Встановлення тієї або іншої категорії формує нормативні вимоги щодо забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки приміщень, будинків та зовнішніх установок стосовно планування і забудови території промислових підприємств, поверховості виробничих будівель, вогнестійкості будівельних конструкцій, величини площ пожежних відсіків, розташування приміщень, протяжності шляхів евакуації, застосування легкоскидних конструкцій, протипожежного інженерного обладнання, систем протипожежного захисту тощо. Приведений перелік свідчить про важливість правильного визначення категорії, оскільки, помилки в цій області на багато років вперед визначають недостатність або надмірність заходів щодо запобігання пожежам і протипожежного захисту.

На даний час методика визначення категорій приміщень виробничого та складського призначення, будинків (або частин будинків в межах протипожежних відсіків) та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою здійснюється згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» залежно від кількості і властивостей речовин та матеріалів, які в них знаходяться, з урахуванням особливостей технологічних процесів виробництв та об'ємно-планувальних рішень, наявності технічних засобів, що запобігають виникненню аварійних ситуацій.

Вказаний стандарт застосовується на стадії проектування, експлуатації, реконструкції, технічного переоснащення та зміни технологічного процесу в приміщеннях, будинках та зовнішніх установках незалежно від форм власності та відомчої належності, при розробці відомчих норм технологічного проектування та переліків приміщень з визначенням категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Однак, стандарт не поширюється на приміщення і будинки для виробництва та зберігання вибухових речовин, будинки і споруди, що проектуються за спеціальними нормами і правилами, зовнішні установки для виробництва і зберігання вибухових речовин.

Категорія вибухопожежної та пожежної безпеки – класифікаційна характеристика вибухопожежної та пожежної безпеки будинку (або частини будинку в межах протипожежного відсіку), приміщення, зовнішньої установки, що визначається кількістю та вибухонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що розміщені (зберігаються, переробляються, транспортуються) в них, з урахуванням особливостей технологічних процесів виробництв.

Категорії будинків, приміщень і зовнішніх установок встановлюються в технологічній частині проєкту. Категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначаються керівниками (технологами) об'єктів, або проєктувальними організаціями, або спеціалізованими науково-дослідними закладами.

Категорії, а також клас зони позначають на вхідних дверях до приміщення, а також у межах зон усередині приміщень та зовні, що вказується в Правилах пожежної безпеки (п. 2.9. Для всіх будівель та приміщень виробничого, складського призначення повинні бути визначені категорія щодо вибухопожежної та пожежної небезпеки відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», а також клас зони згідно з «Правилами будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» (НПАОП 40.1-1.32-01), у тому числі для зовнішніх виробничих і складських дільниць, які необхідно позначати на вхідних дверях до приміщення, а також у межах зон усередині приміщень та зовні).

Поділ виробничих приміщень, будинків та зовнішніх установок на категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою базується на оцінці вибухопожежонебезпеки технологічних процесів виробництв. Відомі два підходи в оцінці вибухопожежонебезпеки технологічних процесів: ймовірнісний і детермінований.

Ймовірнісний підхід базується на розрахунку можливості досягнення певного рівня вибухопожежонебезпеки об'єкта. Прикладом такого підходу є положення ГОСТ 12.1.004-91 "Пожарная безопасность" у якому, на підставі заданого рівня вибухопожежонебезпеки регламентується рівень пожежної безпеки об'єкта, тобто рівень систем запобігання пожежі і протипожежного захисту, що у сукупності повинні виключати вплив на людей небезпечних чинників пожежі. Можливість впливу зазначених чинників не повинна перевищувати нормативну, що дорівнює  $10^{-6}$  в рік у розрахунку на кожну людину, можливість виникнення пожежі також не повинна перевищувати  $10^{-6}$  в рік в одиничному виробі.

Оскільки вибухопожежонебезпека будь-якого об'єкта визначається вибухопожежонебезпекою його складових частин (технологічних апаратів, установок, приміщень), ця система оцінки не знайшла застосування у практиці визначення рівня безпеки об'єкта через "громіздкість".

Детермінований метод базується на певній кількісній диференціації приміщень, будинків та зовнішніх установок на категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

Методи категорювання приміщень і будинків за вибухопожежною пожежною небезпекою з часу їх початкового введення постійно розвиваються і удосконалюються. Так, нормативи, розроблені у 1939 р. (ОСТ 90 015-39 «Общесоюзные нормы строительного проектирования промышленных предприятий»), враховували лише деякі пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів (агрегатний стан, горючість, температуру спалаху) і деякі особливості технологічних процесів. Незважаючи на наближеність такого підходу, введення системи категорювання було позитивним.

Перша спроба удосконалення методики категорювання була здійснена в 1952 р. при виданні Н 102-51 «Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест». У цих нормах шляхом введення нової характеристики пожежної небезпеки – нижньої концентраційної межі поширення полум'я – більш повно враховувалися пожежонебезпечні властивості речовин. Аналогічний підхід реалізований і в нормативному документі 1962 р. (СНиП II-М. 2-62 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования»).

Зазначені вище нормативні документи, хоча і враховували найбільш важливі показники вибухопожежонебезпеки речовин, що обертаються у виробництві, практично не містили кількісних критеріїв рівня небезпеки виробничих приміщень. У зв'язку з тим, за формальними ознаками приміщення, у яких містились горючі речовини у незначній кількості, повинні були відноситися до вибухопожежонебезпечних і пожежонебезпечних категорій А, Б, В. Виняток було зроблено лише для електророзподільних пристроїв із вимикачами і апаратурою, що містить не більш ніж 60 кг масла в одиниці обладнання.

Безумовним кроком вперед було створення у 1972 р. норм СНиП II-М. 2-72 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования», у яких був введений кількісний критерій вибухопожежонебезпеки виробництв. Виробництво відносилось до вибухопожежонебезпечних категорій А або Б, якщо кількість горючих речовин, що надходять в результаті аварії в приміщення, здатні утворити вибухонебезпечну суміш із повітрям в об'ємі, що перевищує 5% вільного об'єму приміщення. Таким чином, це давало можливість до вибухопожежонебезпечних не відносити виробництва, у яких оберталися горючі гази, пари і пил у невеликій кількості. Була зменшена з 120°C до 61°C величина температури спалаху рідин, що поділяє вибухопожежонебезпечну (Б) і пожежонебезпечну (В) категорії.

Черговий перегляд будівельних норм і правил відбувся в 1981р. (СНиП II-90-81 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования»), однак, він не супроводжувався істотними змінами в системі категорювання. Водночас, у результаті наукових досліджень і на основі практики використання нормативних документів виникла необхідність удосконалення категорювання. Зокрема, було встановлено, що при згорянні однакових локальних вибухонебезпечних об'ємів різних речовин, величини яких розраховувалися у відповідності до СНиП II-90-81 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования» і СН 463-74 «Указаниями по определению категорий производств по взрыво-, взрывопожарной и пожарной безопасности», надлишковий тиск вибуху може відрізнятись в два і більше разів і, таким чином, впливи вибуху на будівельні конструкції будуть зовсім різними. Вивчення вибухопожежонебезпеки промислового пилу показало, що аерозолі речовин із НКМПП, що перевищує 65 г/м<sup>3</sup>, у багатьох випадках є не менш небезпечними, ніж аерозолі речовин із НКМПП меншою за 65 г/м<sup>3</sup>. Крім того було встановлено, що не вся маса горючих газів, парів і пилу, що виходять в об'єм виробничих приміщень, бере участь у вибуху.

Найбільш важливим положенням прийнятого у 1986 р. нормативного документа з категорювання ОНТП 24-86 «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» було використання в якості критерію вибухопожежної небезпеки розрахункового надлишкового тиску вибуху ( $\Delta P$ ) локальних вибухонебезпечних газо-, паро- або пилоповітряних сумішей, що утворюються в об'ємі виробничих приміщень у результаті нормальної роботи технологічного обладнання або аварійної ситуації. Величина надлишкового тиску вибуху ( $\Delta P$ ), на відміну від локального вибухонебезпечного об'єму, вказує, наскільки великою є небезпека вибуху. Зіставляючи розрахункове значення  $\Delta P$  з допустимою величиною, яка

встановлена з умови безпеки людей, незруйнованості основних будівельних конструкцій і технологічного устаткування, можна однозначно визначити, чи є приміщення вибухопожежонебезпечним, чи лише пожежонебезпечним. У якості допустимої величини надлишкового тиску прийнято значення 5 кПа, оскільки за даними результатів числових досліджень, цей тиск не призводить до руйнування основних будівельних конструкцій, технологічного обладнання і є безпечний для людини. Для порівняння: при тиску в діапазоні 5,9...8,3 кПа ураження людини можливе тільки осколками скла й іншими уламками, вказується у нормах США (1980 р.), а при тиску в ударній хвилі 16 кПа відбувається тимчасова втрата слуху.

Проте, незважаючи на свої безсумнівні переваги, у ОНТП 24-86 були і певні недоліки, основними з яких є: відсутність кількісної оцінки пожежної небезпеки приміщень, яка б враховувала пожежне навантаження у приміщеннях категорії В; відсутність методики визначення категорії для зовнішніх установок; категорії будинків визначались залежно від площі приміщень певної категорії, що було некоректним з огляду на те, що в розрахунках враховується об'єм приміщення, а не його площа. У ОНТП 24-86 не передбачено віднесення приміщень, в яких обертаються легкозаймисті рідини і розрахунковий надлишковий тиск вибуху не перевищує 5 кПа, до пожежонебезпечних; не враховано, що під час визначення надлишкового тиску вибуху у приміщеннях, де обертається горючий пил, у разі аварії у вибуху бере участь не весь горючий пил, а лише його дрібні частки, розмір яких менший від критичного, а також трудомісткість при визначенні окремих показників при розрахунку  $\Delta P$ .

Усунення зазначених недоліків призвело до створення нового нормативного документа з категорювання – НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».

З 2016 року чинним в Україні є державний стандарт ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».

Згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016, за вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення та будинки характеризуються за категоріями А, Б, В, Г та Д, а зовнішні установки – за категоріями А<sub>з</sub>, Б<sub>з</sub>, В<sub>з</sub>, Г<sub>з</sub> та Д<sub>з</sub>.

Категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою визначають для найнесприятливішого щодо виникнення пожежі або вибуху періоду, виходячи з фізичного стану горючих речовин і матеріалів, які перебувають (зберігаються, переробляються, транспортуються) в апаратах, приміщеннях і зовнішніх установках, їх кількості, пожежовибухонебезпечних властивостей та особливостей технологічних процесів.

Визначення пожежовибухонебезпечних властивостей речовин і матеріалів здійснюється на підставі результатів випробувань чи розрахунків за стандартними методиками з врахуванням параметрів стану (тиску, температури тощо). Під час розрахунків допускається використання довідникових даних та даних з паспорта безпеки хімічної продукції. У разі їх відсутності допускається приймати показники пожежовибухонебезпечності горючих сумішей речовин і матеріалів за найнебезпечнішим компонентом.

## 6.1. Категорії приміщень за вибухопожежною і пожежною безпекою

ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» встановлює п'ять категорій приміщень:

- категорії А і Б – вибухопожежонебезпечні, ознакою яких є наявність в аналізованих об'єктах речовин, здатних вибухати і горіти з розрахунковим надлишковим тиском вибуху більшим ніж 5 кПа;
- категорія В – пожежонебезпечна, характеризується наявністю горючих матеріалів і речовин, здатних тільки горіти;
- категорія Г – помірно пожежонебезпечна, характеризується відсутністю горючих матеріалів, але застосуванням високих температур;
- категорія Д – знижено пожежонебезпечна, пов'язана з застосуванням негорючих матеріалів у холодному стані.

При класифікації виробничих приміщень за вибухопожежною і пожежною безпекою враховується:

- агрегатний стан речовин і матеріалів, що застосовуються;
- вибухопожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів (максимальний тиск вибуху ( $P_{\max}$ ) при стехіометричній концентрації горючих речовин у повітрі ( $C_{\text{ст}}$ ), теплота згоряння ( $H_T$ ), температура спалаху ( $t_{\text{сп}}$ ) ЛЗР);
- реальні умови проведення технологічного процесу (тиск, температура, енергетичний потенціал вибухопожежонебезпеки технологічного блоку тощо) для прогнозування найбільш несприятливого варіанта аварійної ситуації, за якого в приміщення може надійти найбільша кількість найбільш вибухопожежонебезпечної речовини;
- наявність технічних засобів контролю і захисту від утворення вибухонебезпечних концентрацій на випадок розгерметизації технологічного обладнання (сигналізатори довибухонебезпечних концентрацій, аварійна вентиляція, швидкодіючі системи відключення пошкодженого апарата, технічні заходи для обмеження площі розливу рідини, аварійний злив рідини, аварійний викид газу тощо);
- реальні умови утворення зон вибухонебезпечних концентрацій;
- можливість виникнення джерела запалювання (приймається, що при аварійній ситуації вона дорівнює одиниці);
- надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  при займанні локального скупчення горючої суміші (він визначається з урахуванням процесу горіння і негерметичності приміщення);
- стійкість конструкцій будинку до надлишкового тиску вибуху.

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою», категорії приміщень за вибухопожежною і пожежною безпекою визначають шляхом перевірки належності приміщень до категорій від найбільш вибухопожежонебезпечної категорії А до найменш небезпечної категорії Д (таблиця 6.1) за винятком категорії Г.

Таблиця 6.1.

## Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин і матеріалів, що знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) у приміщенні
1	2
А вибухо-пожежо-небезпечна	Горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не вище 28°C в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні газо-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа, і (або) речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і (або) один з одним, у такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа.
Б вибухо-пожежо-небезпечна	Горючий пил і (або) волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху вище 28°C, горючі рідини, нагріті вище температури спалаху, у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пило-, пароповітряні суміші, у разі займання яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, який перевищує 5 кПа.
В пожежо-небезпечна	Горючі гази, легкозаймисті, горючі і (або) важкогорючі рідини, а також речовини і (або) матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і (або) один з одним; тверді горючі і (або) важкогорючі речовини і матеріали (включно з горючим пилом і (або) волокнами), за умови, що приміщення, у яких вони знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються), не відносяться до категорій А або Б і питома пожежна навантаження для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і (або) матеріалів на окремих ділянках <sup>1</sup> площею не менше 10 м <sup>2</sup> кожна перевищує 180 МДж/м <sup>2</sup> . <sup>2, 3</sup> Якщо питома пожежна навантаження не перевищує 180 МДж/м <sup>2</sup> , то приміщення відноситься до категорії Д за умови виконання певних вимог.
Г помірно-пожежо-небезпечна	Негорючі речовини і (або) матеріали в гарячому, розпеченому і (або) розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, утворенням іскор і (або) полум'я; горючі гази, рідини і (або) тверді речовини, що спалюються або утилізуються як паливо.
Д знижено-пожежо-небезпечна	Речовини і (або) матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень А, Б, В (крім горючих газів, горючих пилу і (або) волокон), а також негорючі речовини і (або) матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і (або) матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В.

Приклади приміщень категорії А – цехи фарбування виробів нітрофарбами, склади карбиду кальцію, компресорні станції для компримування природного газу, воднева і ацетиленова станції. До категорії Б, як правило, належать вибійні і розмелювальні відділення млинів, цехи отримання уайт-спіриту, сховища гасу. Трикотажні і столярні цехи, трансформаторні, майстерні, приміщення зберігання автомобілів відносять до категорії В. Прикладами приміщень категорії Г є ливарні та інструментальні цехи, кузні, котельні. Водонасосні станції, цехи виготовлення залізобетонних виробів, склади інертних газів належать до категорії Д.

Послідовність визначення категорій приміщень полягає у виконанні таких етапів:

1. Вивчення:

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

2. Вибір розрахункового варіанта розгерметизації технологічного блока.

3. Збір і підготовка вихідних даних для розрахунку.

4. Розрахунок кількісних параметрів вибухопожежонебезпеки аварійної ситуації:

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

5. Перевірка належності приміщення від вищої категорії до нижчої.

6. Дослідження ефективності технічних заходів, що дають можливість зменшити рівень вибухопожежонебезпеки приміщення.

### **Методика розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою для приміщень**

Під час розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою для приміщень як розрахунковий необхідно вибрати найнесприятливіший варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху і (або) горінні бере участь найбільша кількість речовин або матеріалів, найнебезпечніших щодо наслідків такого вибуху і (або) горіння.

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

1) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів;

2) весь вміст апарата потрапляє до приміщення;

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

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

Розрахунковий час перекривання трубопроводів слід приймати таким, що дорівнює:

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



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

- 300 с у разі ручного відключення (перекривання).

Не допускається використання технічних засобів для перекривання трубопроводів, для яких час перекривання перевищує наведені вище значення. Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подавання газу (рідини) по трубопроводах у разі порушення електропостачання або спрацювання систем пожежної сигналізації та автоматичних систем пожежогасіння чи газоаналізаторів, або різкого падіння тиску у трубопроводах.

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

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

б) тривалість випаровування рідин приймається рівною часу її повного випаровування, але не більше 3600 с (1 год).

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

- перед розрахунковою аварією відбулося нагромадження пилу у виробничому приміщенні, яке здійснювалося в умовах нормального режиму роботи (наприклад, виділення пилу з негерметичного виробничого обладнання);

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

Вільний об'єм приміщення визначається як різниця між геометричним об'ємом приміщення (з урахуванням підвісних стель та фальшпідлог у разі їх наявності) і об'ємом, який займає технологічне устаткування. Якщо вільний об'єм приміщення визначити неможливо, то допускається приймати його таким, що становить 80% від геометричного об'єму приміщення.

Якщо під час розрахункової аварії можливе виділення горючих газів, парів легкозаймистих та горючих рідин, горючих пилу і (або) волокон, надлишковий тиск вибуху у приміщенні слід визначати за обраним найнесприятливішим варіантом аварії або періодом нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість речовин і матеріалів, найбільш небезпечних щодо наслідків вибуху, що містяться в одному апараті.

## Розрахунок надлишкового тиску вибух у приміщенні для горючих газів, парів легкозаймистих та горючих рідин

Надлишковий тиск вибуху ( $\Delta P$ ) для індивідуальних горючих речовин, які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F визначається за формулою:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_g \cdot \rho_{z,n}} \cdot \frac{100}{C_{cm}} \cdot \frac{1}{K_H}, \quad (6.1)$$

де:

$P_{\max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- або пароповітряної суміші в замкнутому об'ємі, який визначається експериментально або за довідниковими даними. У разі відсутності таких даних, допускається приймати  $P_{\max} = 900$  кПа;

$P_o$  – атмосферний тиск; допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа;

$m$  – маса горючого газу або парів легкозаймистих чи горючих рідин, які надійшли в приміщення при аварії, кг; для горючих газів обчислюється за формулою (6.6), для легкозаймистих чи горючих рідин – за формулою (6.11);

$V_g$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$\rho_{r, n}$  – густина горючого газу або парів легкозаймистих чи горючих рідин при розрахунковій температурі  $t_p$ , кг·м<sup>-3</sup>, яка обчислюється за формулою:

$$\rho_{z,n} = \frac{M}{V_o (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (6.2)$$

де  $M$  – молярна маса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;  $V_o$  – мольний об'єм, що дорівнює 22,413 м<sup>3</sup>·кмоль<sup>-1</sup>;  $t_p$  – розрахункова температура, °С. Як розрахункова температура  $t_p$  приймається максимально можлива температура у цьому приміщенні у відповідній кліматичній зоні або максимально можлива температура повітря за технологічним регламентом з урахуванням можливого підвищення температури у разі розрахункової аварії.

$C_{cm}$  – стехіометрична концентрація горючих газів або парів легкозаймистих чи горючих рідин, % об., яка визначається за формулою:

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (6.3)$$

де  $\beta$  – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння. Визначається за формулою:  $\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}$ ,

де  $n_c, n_n, n_o, n_x$  – число атомів С, Н, О та галогенів в молекулі горючих газів або парів легкозаймистих та горючих рідин. Під час розрахунку  $\beta$  атоми азоту не враховуються.

$K_H$  – коефіцієнт, який враховує негерметичність приміщення і неадіабатичність процесу горіння. Допускається приймати  $K_H=3$ ;

$Z$  – коефіцієнт участі горючих газів або парів легкозаймистих чи горючих рідин у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілу газів і парів в об'ємі приміщення. Допускається приймати значення  $Z$  за таблицею 6.2.

Таблиця 6.2

Значення коефіцієнта  $Z$  участі горючих газів або парів ЛЗР, ГР у вибуху

Вид горючої речовини	Значення $Z$
Водень	1,0
Горючі гази (крім водню)	0,5
Легкозаймисті та горючі рідини, які нагріті до температури спалаху та вище	0,3
Легкозаймисті та горючі рідини, які нагріті нижче температури спалаху, за умови можливості утворення аерозолі	0,3
Легкозаймисті та горючі рідини, які нагріті нижче температури спалаху, за неможливості утворення аерозолі	0

Надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  (кПа) для будь-яких індивідуальних речовин, до складу яких не входять атоми С, Н, О, Сl, N, Br, I, F, а також для їх сумішей розраховується за формулою:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_v \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (6.4)$$

де:

$m$  – маса горючого газу або парів легкозаймистих чи горючих рідин (або їх сумішей), які надійшли в приміщення при аварії, кг;

$H_T$  – теплота згоряння речовини, Дж/кг;

$P_0$  – атмосферний тиск, допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа;

$Z$  – коефіцієнт участі горючих газів або парів легкозаймистих та горючих рідин у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілу газів і парів в об'ємі приміщення. Допускається приймати значення  $Z$  за таблицею 6.2.

$V_v$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  – густина повітря до вибуху за початкової температури  $T_0$ , кг/м<sup>3</sup>;

$C_p$  – теплоємність повітря, Дж/кг · К; допускається приймати 1010 Дж/кг · К;

$T_0$  – початкова температура повітря, К;

$K_n$  – коефіцієнт негерметичності приміщення;  $K_n=3$ .

У випадку обертання в приміщенні горючих газів або легкозаймистих чи горючих рідин при визначенні значення маси ( $m$ ), яка входить у формули (6.1, 6.4), допускається враховувати роботу аварійної вентиляції, якщо вона забезпечена резервними вентиляторами, автоматичним пуском при перевищенні гранично допустимої вибухобезпечної концентрації у повітрі та електропостачання за першою категорією надійності (ПУЕ) за умови розташування пристроїв для вилучення повітря з приміщення безпосередньо від місця можливої розрахункової аварії, що забезпечить ефективно вилучення газів і парів, які надходять у приміщення в результаті аварії.

Допускається враховувати постійно працюючу загальнообмінну вентиляцію, яка відповідає конструктивним вимогам аварійної вентиляції і забезпечує концентрацію горючих газів і парів у приміщення, що не перевищує гранично допустимої вибухобезпечної концентрації, розрахованої для аварійної вентиляції. Вказана загальнообмінна вентиляція повинна бути

обладнана резервними вентиляторами, які вмикаються автоматично при зупинці основних. Електропостачання вказаної вентиляції повинно здійснюватися не нижче, ніж за першою категорією за ПУЕ.

При цьому масу горючих газів або парів легкозаймистих чи горючих рідин, які нагріті до температури спалаху і вище, що надійшли в приміщення, необхідно розділити на коефіцієнт  $K$ , що визначається за формулою:

$$K = A \cdot \tau + 1, \quad (6.5)$$

де:

$A$  – кратність повітрообміну, що створюється аварійною вентиляцією,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\tau$  – тривалість надходження горючих газів або парів ЛЗР чи ГР в приміщення, с.

Масу газу  $m$  (кг), яка надійшла в приміщення, визначають за формулою:

$$m = (V_a + V_m) \cdot \rho_r, \quad (6.6)$$

де:

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

$V_m$  – об'єм горючого газу, який вийшов з трубопроводів,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_r$  – густина горючого газу за розрахункової температури,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Об'єм газу  $V_a$  ( $\text{м}^3$ ), який вийшов з апарата, визначається за формулою:

$$V_a = \frac{P_1}{P_o} \cdot V = 0,01 \cdot P_1 \cdot V, \quad (6.7)$$

де:

$P_1$  – тиск газу в апараті, кПа;

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

$V$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$ .

Об'єм газу  $V_r$  ( $\text{м}^3$ ), який вийшов з трубопроводів, визначається за формулою:

$$V_r = V_{1r} + V_{2r}, \quad (6.8)$$

де:

$V_{1r}$  – об'єм горючого газу, який вийшов з трубопроводу до його перекривання,  $\text{м}^3$ ;

$V_{2r}$  – об'єм горючого газу, який вийшов з трубопроводу після його перекривання,  $\text{м}^3$ .

Об'єм газу  $V_{1r}$  ( $\text{м}^3$ ), який вийшов з трубопроводу до його відключення, визначається за формулою:

$$V_{1r} = q \cdot \tau, \quad (6.9)$$

де:

$q$  – витрата горючого газу, яка визначається залежно від тиску в трубопроводі, його діаметра, температури газового середовища тощо,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\tau_{\text{відкл.}}$  – час перекривання, с.

Об'єм газу  $V_{2r}$  ( $\text{м}^3$ ), який вийшов з трубопроводу після його перекривання, визначається за формулою:

$$\begin{aligned} V_{2r} &= \pi \frac{P_2}{P_o} \cdot (R_1^2 \cdot l_1 + R_2^2 \cdot l_2 + \dots + R_n^2 \cdot l_n) = \\ &= 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot (R_1^2 \cdot l_1 + R_2^2 \cdot l_2 + \dots + R_n^2 \cdot l_n), \end{aligned} \quad (6.10)$$

де:

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

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

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – внутрішній радіус трубопроводів, м;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  – довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувки, м.

Масу парів легкозаймистих чи горючих рідин  $m$  (кг), які потрапили до приміщення за наявності кількох джерел випаровування (поверхня рідини, яка розлилась; поверхні відкритих ємностей технологічного обладнання; поверхні з свіжо нанесеною горючою рідиною, яка на час аварії знаходиться у стадії висихання тощо) визначають за формулою:

$$m = m_p + m_{\text{смк.}} + m_{\text{нов.}}, \quad (6.11)$$

де:

$m_p$  – маса рідини, яка випарувалась з поверхні розлитої рідини, кг;

$m_{\text{смк.}}$  – маса рідини, яка випарувалась з поверхонь відкритих ємностей технологічного обладнання, кг;

$m_{\text{нов.}}$  – маса рідини, яка випарувалась з поверхонь зі свіжо нанесеною горючою рідиною, яка на час аварії знаходиться у стадії висихання, кг.

Кожен з доданків у формулі (6.11) визначається за формулою:

$$m = W \cdot F \cdot \tau, \quad (6.12)$$

де:

$F$  – площа випаровування, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – тривалість надходження горючих газів, парів ЛЗР чи ГР в приміщення, с;

$W$  – інтенсивність випаровування, кг·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>; інтенсивність випаровування  $W$  визначається за довідковими або експериментальними даними. Для легкозаймистих рідин, які не нагріті вище температури навколишнього середовища, у разі відсутності таких даних, допускається розраховувати  $W$  за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (6.13)$$

де:

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

$P_H$  – тиск насичених парів при розрахунковій температурі рідини  $t_p$ , кПа;

визначається за довідниковими даними або за формулою:

$$P_H = 0,133 \cdot 10^{\frac{A-B}{C_a+t_p}}, \quad (6.14)$$

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

$$P_H = 10^{\frac{A-B}{C_a+t_p}}, \quad (6.15)$$

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

$\eta$  – коефіцієнт, який приймається за таблицею 6.3 залежно від швидкості повітряного потоку, що створюється вентиляцією над поверхнею випаровування, та температури повітряного потоку над поверхнею випаровування. У разі відсутності вентиляції  $\eta = 1$ .

Таблиця 6.3

Значення коефіцієнта  $\eta$  залежно від швидкості повітряного потоку та температури в приміщенні

Швидкість повітряного потоку в приміщенні, м/с	Значення коефіцієнта $\eta$ за температури повітря в приміщенні $t$ , °С				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Швидкість повітряного потоку в приміщенні визначається за формулою:

$$u = A \cdot l, \quad (6.16)$$

де  $A$  – кратність повітрообміну,  $\text{с}^{-1}$ ;  $l$  – довжина приміщення, м.

Маса парів,  $m_{\text{нагр}}$ , кг, при випаровуванні рідини, яка нагріта вище розрахункової температури, але не вище температури кипіння рідини, визначається за формулою:

$$m_{\text{нагр}} = 0,02 \cdot \sqrt{M} \cdot P_n \frac{C_p \cdot m_p}{L_{\text{вип}}}, \quad (6.17)$$

де  $C_p$  – питома теплоємність рідини при початковій температурі випаровування, Дж/кг·К;  $M$  – молярна маса, кг·кмоль<sup>-1</sup>;  $L_{\text{вип}}$  – питома теплота випаровування рідини при початковій температурі випаровування, яка визначається за довідниковими даними, Дж/кг;  $m_p$  – маса рідини, кг.

За відсутності довідникових даних допускається визначати  $L_{\text{вип}}$  за формулою:

$$L_{\text{вип}} = \frac{19,173 \cdot 10^3 \cdot B \cdot T_0^2}{(T_0 + C_a - 273,2)^2 \cdot M}, \quad (6.18)$$

Де  $B, C_a$  – константи рівняння Антуана, які визначаються за довідниковими даними для тиску насичених парів, що вимірюється у кПа;  $T_0$  – початкова температура нагрітої рідини, К.

Формули (6.17) і (6.18) справедливі для рідин, які нагріті до температури спалаху і вище за умови, що температура спалаху рідини перевищує значення розрахункової температури.

### Розрахунок надлишкового тиску вибуху у приміщенні для горючого пилу

Надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  (кПа) для приміщень, де обертається горючий пил, визначається за формулою:

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_T \cdot P_0 \cdot Z}{V_g \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot T_0} \cdot \frac{1}{K_n}, \quad (6.19)$$

де:

$m$  – маса горючого пилу, кг;

$H_m$  – теплота горіння речовини, кДж/кг; визначається з довідника;

$P_0$  – початковий тиск, кПа;

$Z$  – коефіцієнт участі пилу в завислому стані (стані аерозолі) у вибуху, горючого пилу у вибуху розраховується за формулою:  $Z = 0,5 \cdot M_{кр}$ , де  $M_{кр}$  – масова частка частинок пилу розміром менше критичного. З перевищенням критичного розміру частинок пилу аерозоль стає вибухобезпечним. За відсутності експериментальних даних допускається приймати  $Z = 0,5$ ;

$V_в$  – вільний об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  – густина повітря при початковій температурі, кг/м<sup>3</sup>;

$C_p$  – теплоємність повітря; допускається приймати 1010 Дж/кг · К.

$T_0$  – початкова температура повітря, К;

$K_n$  – коефіцієнт негерметичності приміщення;  $K_n=3$ .

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

$$m_{zn} = \min \begin{cases} m_{зв} + m_{ав} \\ \rho_{ст} \cdot V_{ав} / Z \end{cases} \quad (6.20)$$

де:

$m_{зв}$  – розрахункова маса частини відкладеного у приміщення пилу, що перейшов у стан аерозолі, кг;

$m_{ав}$  – розрахункова маса горючого пилу, який надійшов до приміщення з апарата в результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, кг;

$\rho_{ст}$  – стехіометрична концентрація горючого пилу в аерозолі, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{ав}$  – розрахунковий об'єм пилоповітряної хмари, утвореної при аварійній ситуації в об'ємі приміщення, м<sup>3</sup>;

За відсутності можливості отримання відомостей при розрахунку  $V_{ав}$  допускається приймати:

$$m_{zn} = m_{зв} + m_{ав} \quad (6.21)$$

Розрахункова маса частини відкладеного у приміщенні горючого пилу  $m_{зв}$ , кг, що перейшов у стан аерозолі, визначається за формулою:

$$m_{зв} = K_{зв} \cdot m_n \quad (6.22)$$

де

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

$m_n$  – маса горючого пилу, який був у приміщенні до моменту розрахункової аварії, кг.

Розрахункова маса горючого пилу  $m_{ав}$  (кг), який надійшов в приміщення в результаті розрахункової аварії та перейшов у стан аерозолі, визначається за формулою:

$$m_{ав} = (m_{ан} + q \cdot \tau_n) \cdot K_n \quad (6.23)$$

де:

$m_{an}$  – маса горючого пилу, який надійшов в приміщення з апарата, кг;  
 $q$  – продуктивність, з якою продовжують надходити пилоподібні речовини до аварійного апарата трубопроводами до моменту їх перекивання, кг · с<sup>-1</sup>;  
 $\tau_j$  – розрахунковий час перекивання, с;

$K_n$  – коефіцієнт пилення, що є відношенням маси пилу в стані аерозолу до всієї маси пилу, який надійшов з апарата в приміщення. За відсутності експериментальних даних про величину  $K_n$  приймають для пилу з дисперсністю не менше 350 мкм –  $K_n = 0,5$ ; для пилу з дисперсністю менше 350 мкм –  $K_n = 1,0$ .

Масу горючого пилу  $m_n$  (кг), який відклався до моменту аварії, визначаємо за формулою:

$$m_n = K_2 \cdot (1 - K_{np}) \cdot (m_1 + m_2), \quad (6.24)$$

де:

$K_2$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу, кг;

$K_{np}$  – коефіцієнт ефективності пилоприбирання. Для ручного сухого прибирання – 0,6; для вологого – 0,7; для механізованого вакуумного: підлога рівна – 0,9; підлога з вибоїнами (до 5 % площі) – 0,7.

$m_1$  – маса пилу, який осідає на важкодоступні для прибирання поверхні в приміщеннях за період часу між генеральними прибираннями, кг;

$m_2$  – маса пилу, який осідає на доступних для прибирання поверхнях в приміщеннях за період часу між поточними прибираннями, кг.

Важкодоступними для прибирання площами вважають такі поверхні у виробничих приміщеннях, очищення яких здійснюється тільки при генеральних пилоприбираннях. Доступними для прибирання місцями вважають поверхні, пил з яких вилучають в процесі поточних пилоприбирань (щозмінно, щодобово тощо).

Маса пилу  $m_i$  ( $i=1$  (важкодоступні поверхні),  $i=2$  (доступні поверхні) кг, яка осідає на різних поверхнях в приміщенні за міжприбиральний період, визначається за формулою:

$$m_i = M_i \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta_i, \quad (i=1,2), \quad (6.25)$$

де:

$M_1 = \sum_j M_{1j}$  – маса пилу, який надходить в приміщення за період часу між генеральними прибираннями, кг;

$M_{1j}$  – маса пилу, що виходить з одиниці обладнання за період часу між генеральними прибираннями, кг;

$M_2 = \sum_j M_{2j}$  – маса пилу, який надходить до приміщення за період часу між поточними пилоприбираннями, кг;

$M_{2j}$  – маса пилу, що виділяється одиницею обладнання за період часу між поточними пилоприбираннями, кг;



$\alpha$  – частка пилу, який вилучається витяжними вентиляційними системами; за відсутності експериментальних даних про величину  $\alpha$  приймають  $\alpha=0$ ;

$\beta_1, \beta_2$  – частки пилу, який потрапляє до об'єму приміщення та осідає на відповідно важкодоступних і доступних для прибирання поверхнях приміщення ( $\beta_1 + \beta_2 = 1$ ). У разі відсутності експериментальних даних щодо значень коефіцієнтів  $\beta_1$  і  $\beta_2$  допускається приймати  $\beta_1=1, \beta_2=0$ .

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

$$M_i = \sum_j (G_{i,j} \cdot F_{i,j}) \cdot \tau_i, \quad (i=1, 2) \quad (6.26)$$

де:

$G_{1,j}, G_{2,j}$  – інтенсивність відкладення пилу відповідно на важкодоступних  $F_{1,j}$  ( $m^2$ ) і доступних  $F_{2,j}$  ( $m^2$ ) поверхнях,  $kg/m^2 \cdot s$ ;

$\tau_1, \tau_2$  – проміжки часу відповідно між генеральними і поточними прибираннями пилу,  $s$ .

За умови відсутності даних про масу горючих пилу і (або) волокон, які надходять до об'єму приміщення між прибираннями, про масу пилу, яка осідає на важкодоступних для пилоприбирання поверхнях, і, як наслідок, неможливість виконання розрахунків, приймати категорію приміщення – Б.

### **Розрахунок надлишкового тиску вибуху для речовин і матеріалів, які здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря чи один з одним**

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху ( $\Delta P$ ) для речовин і матеріалів, які здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря чи один з одним визначається за приведеною вище методикою, вважаючи що  $z=1$  і приймаючи в якості величини  $H_m$  енергію, що виділяється під час взаємодії вищезазначених речовин (з урахуванням того, що процес їх взаємодії проходить до кінця, тобто до утворення кінцевих продуктів), або експериментально під час натурних випробувань.

### **Розрахунок надлишкового тиску вибуху для вибухонебезпечних сумішей, що містять горючі гази, пари легкозаймистих та горючих рідин, горючий пил**

Розрахунковий надлишковий тиск вибуху  $\Delta P$  (кПа) для складних вибухонебезпечних сумішей, що містять горючі гази, пари легкозаймистих та горючих рідин, горючий пил визначається за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (6.27)$$

де:  $\Delta P_1$  – тиск вибуху, що обчислюється для горючих газів, пари легкозаймистих та горючих рідин, кПа;  $\Delta P_2$  – тиск вибуху, що обчислюється для горючого пилу, кПа.

### Визначення категорій приміщень за пожежною небезпекою

До пожежонебезпечної категорії В відносять приміщення, які не відносяться до категорій А і Б, і питома пожежне навантаження для твердих і рідких легкозаймистих, горючих та важкогорючих речовин і (або) матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м<sup>2</sup> кожна перевищує 180 МДж/м<sup>2</sup>.

У разі, якщо питома пожежне навантаження менше 180 МДж/м<sup>2</sup>, для віднесення приміщення до категорії В або Д перевіряється виконання таких вимог:

«Якщо величина пожежного навантаження  $Q$ , МДж, що складається з речовин і матеріалів, на окремій ділянці відповідає нерівності:

$$Q \geq 0,64 \cdot g_T \cdot H^2, \quad (6.28)$$

де:  $g_T$  – питома пожежне навантаження, МДж/м<sup>2</sup>;  $H$  – мінімальна відстань від пожежного навантаження (окрім кабельних ліній) до нижнього пояса незахищених металевих ферм або перекриття (покриття), то приміщення відноситься до категорії В. У протилежному випадку приміщення відноситься до категорії Д.

Під час визначення категорії приміщення за пожежною небезпекою вибирають такий варіант, коли за технологічним процесом у приміщенні знаходиться (обертається) така кількість горючих речовин і матеріалів, якій відповідає найбільше пожежне навантаження.

Пожежне навантаження  $Q$ , МДж, складовим якого є тверді й рідкі легкозаймисті, горючі та важкогорючі речовини і (або) речовини (суміші) горючих, важкогорючих рідин, твердих горючих і важкогорючих речовин та матеріалів у межах пожежонебезпечної ділянки, визначають за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i \cdot Q_i^p, \quad (6.29)$$

де:  $G_i$  – кількість і-го матеріалу з пожежного навантаження, кг;

$Q_i^p$  – найнижча теплота згоряння і-го матеріалу з пожежного навантаження, МДж/кг.

Питома пожежне навантаження, МДж/м<sup>2</sup>, визначають із співвідношення:

$$q = \frac{Q}{F_{nn}}, \quad (6.30)$$

де:  $Q$  – пожежне навантаження, МДж;  $F_{nn}$  – площа розміщення складових матеріалів пожежного навантаження, м<sup>2</sup> (при розташуванні складових пожежного навантаження на площі, меншій ніж 10 м<sup>2</sup>, для розрахунків приймається площа 10 м<sup>2</sup>).

За наявності у приміщенні легкозаймистих та горючих рідин площа пожежного навантаження, що утворюється цими складовими, визначається за площею їх розливу, що дорівнює площі відбортовок ванн біля посудин та технологічних апаратів. Допускається при розрахунку кількості ЛЗР та ГР, які потрапляють в приміщення при аварії, враховувати для визначення пожежного навантаження розлитої рідини у приміщенні вмісту однієї найбільшої посудин чи технологічного апарата за умови передбачення технологічних заходів щодо

вилучення ЛЗР та ГР з посудин чи технологічних апаратів при пожежі. До таких заходів належить аварійний злив у посудини, які розташовані за межами будинку, відключення технологічних трубопроводів.

У приміщеннях категорії Д відстань між ділянками, що містять складові пожежного навантаження (тверді горючі чи важкогорючі матеріали мають бути не меншими за мінімальні граничні значення  $l_{сп1}$  та  $l_{сп2}$ , які наведені у таблиці 6.4.

**Таблиця 6.4**

Значення відстаней,  $l_{сп1}$ , залежно від величини критичної поверхневої густини падаючих променистих потоків  $q_{кр}$

$q_{кр}, \text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$	5	10	15	20	25	30	40	50
$l_{сп1}, \text{м}$	12	8	6	5	4	3,8	3,2	2,8

Критична поверхнева густина променистого потоку,  $q_{кр}$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , – мінімальне значення густини теплового потоку, за якого виникає стійке полуменеве горіння матеріалів, на які падає променистий потік.

Значення  $l_{сп1}$  приймаються за умови, що  $H \geq 11 \text{ м}$ ; якщо  $H < 11 \text{ м}$ , то мінімальну граничну відстань визначають як  $l_{сп} = l_{сп1} + (11 - H)$ , де  $l_{сп1}$  вибирають із табл. 6.4,  $H$  – мінімальна відстань від поверхні пожежного навантаження до нижнього пояса ферм перекриття (покриття), м.

Значення  $q_{кр}$  (за тривалості опромінення 15 хв) для деяких матеріалів пожежного навантаження наведені у додатку.

Якщо пожежне навантаження під час розрахункової аварії складається з різних матеріалів, то значення  $q_{кр}$  визначається за матеріалом з мінімальним значенням  $q_{кр}$ . Для матеріалів пожежного навантаження з невідомими значеннями  $q_{кр}$  приймається  $l_{сп} \geq 12 \text{ м}$ . Якщо матеріали пожежного навантаження складаються з ЛЗР або ГР, мінімальну граничну відстань  $l_{гр2}$  між сусідніми ділянками розміщення (розливу) складових пожежного навантаження у приміщеннях категорії Д визначають за формулами:

$$l_{сп} \geq 12 \text{ м} \quad \text{при} \quad H \geq 11, \quad (6.31)$$

$$l_{сп} \geq 26 - H \quad \text{при} \quad H < 11. \quad (6.32)$$

Значення мінімальних граничних відстаней можуть бути зменшені за умови застосування конструктивних рішень, спрямованих на створення протипожежних перешкод поширенню пожежі між ділянками, що містять складові пожежного навантаження.

## 6.2. Категорії будинків та окремих протипожежних відсіків за вибухопожежною і пожежною небезпекою

За вибухопожежною та пожежною небезпекою будинки поділяють на категорії А, Б, В, Г та Д. В окремих випадках за вибухопожежною і пожежною небезпекою категоруюється не весь будинок, а його протипожежні відсіки, які є частинами будинку та відокремлені один від одного протипожежною стіною по всій висоті та ширині (або довжині) будинку. При цьому такі протипожежні

стіни повинні спиратися на фундаменти або фундаментні балки і перетинати всі конструкції та поверхи будинку.

#### **Будинок категорії А**

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

#### **Будинок категорії Б**

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії Б, якщо одночасно виконуються дві умови:

- а) будинок (протипожежний відсік) не відноситься до категорії А;
- б) сумарний об'єм приміщень категорії А і Б перевищує 5 % сумарного об'єму будинку або протипожежного відсіку.

#### **Будинок категорії В**

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії В, якщо одночасно виконуються дві умови:

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

#### **Будинок категорії Г**

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії Г, якщо одночасно виконуються дві умови:

- а) будинок (протипожежний відсік) не відноситься до категорії А, Б чи В;
- б) сумарний об'єм приміщень категорії А, Б, В і Г перевищує 5 % об'єму будинку або протипожежного відсіку.

#### **Будинок категорії Д**

Будинок (протипожежний відсік) відноситься до категорії Д, якщо він не відноситься до категорії А, Б, В чи Г.

### **6.3. Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою**

За вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішні установки поділяють на категорії А<sub>з</sub>, Б<sub>з</sub>, В<sub>з</sub>, Г<sub>з</sub> та Д<sub>з</sub>.

Категорії зовнішніх установок за пожежною небезпекою визначають за таблицею 6.5.

Таблиця 6.5

## Категорії зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою

Категорія зовнішньої установки	Критерії віднесення зовнішньої установки до тієї або іншої категорії за пожежною небезпекою
<b>А<sub>з</sub> вибухо- пожежо- небез- печна</b>	Установка відноситься до категорії А <sub>з</sub> якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази; легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28°C; речовини і (або) матеріали, які здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і (або) один з одним. При цьому горизонтальний розмір зони, що обмежує газо-, пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я (С <sub>НКМП</sub> ), перевищує 30 м (цей критерій застосовується тільки для горючих газів і парів) і (або) розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається в разі згоряння газо-, пароповітряних сумішей, речовин і (або) матеріалів, які здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря і (або) один з одним, перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки.
<b>Б<sub>з</sub> вибухо- пожежо- небез- печна</b>	Установка відноситься до категорії Б <sub>з</sub> , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючий пи́л і (або) волокна; легкозаймисті рідини з температурою спалаху більше 28°C; горючі рідини. При цьому горизонтальний розмір зони, що обмежує пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я (С <sub>НКМП</sub> ), перевищує 30 м (цей критерій застосовується тільки для горючих парів) і (або) розрахунковий надлишковий тиск вибуху, що розвивається у разі займання пило-, пароповітряних сумішей перевищує 5 кПа на відстані 30 м від зовнішньої установки.
<b>В<sub>з</sub> пожежо- небез- печна</b>	Установка відноситься до категорії В <sub>з</sub> , якщо в ній знаходяться (обертаються) горючі гази, легкозаймисті, горючі і (або) важкогорючі рідини, тверді горючі і (або) важкогорючі речовини і (або) матеріали (включно з горючим пилом і (або) волокнами), а також речовини і (або) матеріали, які здатні вибухати і горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і (або) один з одним, за умови, що установка не відноситься до категорій А <sub>з</sub> , або Б <sub>з</sub> . При цьому інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі перевищує 4 кВт·м <sup>-2</sup> на відстані 30 м від зовнішньої установки.
<b>Г<sub>з</sub> помірно- пожежо- небез- печна</b>	Установка відноситься до категорії Г <sub>з</sub> , якщо в ній знаходяться (обертаються) негорючі речовини і (або) матеріали в гарячому, розпеченому і (або) розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і (або) полум'я, а також горючі гази, рідини і (або) тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо
<b>Д<sub>з</sub> знижено- пожежо- небез- печна</b>	Установка відноситься до категорії Д <sub>з</sub> , якщо вона не відноситься до категорій А <sub>з</sub> , Б <sub>з</sub> , В <sub>з</sub> або Г <sub>з</sub> .

Визначення категорій зовнішніх установок слід здійснювати шляхом послідовної перевірки їх належності до категорій, які наведені у таблиці 6.5 від вищої (А<sub>з</sub>) до нижчої (Д<sub>з</sub>). У таблиці 6.5 одними з критеріїв, за яким зовнішня установка відноситься до певної категорії, є горизонтальний розмір зони, що

обмежує газо-, пароповітряні суміші із концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{НКМП}$ ), розрахунковий надлишковий тиск, що розвивається у разі займання газо-, паро- або пилоповітряних сумішей, та інтенсивність теплового випромінювання від вогнища пожежі.

### **Методики розрахунку значень критеріїв вибухопожежної і пожежної небезпеки зовнішніх установок**

У якості розрахункового варіанта слід обирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість найбільш небезпечних речовин чи матеріалів.

Кількість речовин, які надійшли, і які можуть утворювати горючі газоповітряні або пароповітряні суміші, визначається виходячи з таких передумов:

- а) відбувається розрахункова аварія одного з апаратів;
- б) весь вміст апарата надходить до навколишнього простору;
- в) відбувається одночасно витік речовин із трубопроводів, які живлять апарат за прямим та зворотнім потоком протягом часу, який необхідний для перекривання трубопроводів.

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

Розрахунковий час перекривання трубопроводів слід приймати рівним:

- часу спрацювання системи автоматики перекривання трубопроводів відповідно до паспортних даних установки, якщо забезпечується резервування її елементів;
- 120 с, якщо у системі автоматики не забезпечується резервування її елементів;
- 300 с, у разі ручного перекривання.

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

Під "часом спрацювання" і "часом перекривання" слід розуміти проміжок часу від початку можливого надходження горючої речовини з трубопроводу (перфорація, розрив, змінення номінального тиску тощо) до повного припинення надходження газу або рідини назовні. Швидкодіючі клапани-відсікачі мають автоматично перекривати подачу газу або рідини у разі порушення електропостачання.

- г) відбувається випаровування з поверхні рідини, що розлилася; площа випаровування при розливі на горизонтальну поверхню визначається (у разі відсутності довідкових або інших експериментальних даних), виходячи з розрахунку, що 1 л сумішей і розчинів, які містять 70% і менше (за масою) розчинників, розливається на площі  $0,1 \text{ м}^2$ , а інших рідин – на  $0,15 \text{ м}^2$ ;

д) відбувається також випаровування рідин з посудин, які експлуатуються з відкритим дзеркалом рідини, та з свіжопофарбованих поверхонь;

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

Масу газу  $m$ , кг, що надійшов у навколишній простір під час розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m = (V_a + V_m) \cdot \rho_g, \quad (6.26)$$

де  $V_a$  – об'єм газу, що вийшов з апарата,  $\text{м}^3$ ;  $V_m$  – об'єм газу, що вийшов з трубопроводу,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_g$  – густина газу,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . При цьому:

$$V_a = \frac{P_i}{P_o} \cdot V = 0,01 \cdot P_i \cdot V \quad (6.27)$$

де  $P_i$  – тиск в апараті, кПа;  $V$  – об'єм апарата,  $\text{м}^3$ ;

$$V_m = V_{1m} + V_{2m}, \quad (6.28)$$

де  $V_{1m}$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводу до його перекривання,  $\text{м}^3$ ;  $V_{2m}$  – об'єм газу, що вийшов із трубопроводу після його перекривання,  $\text{м}^3$ ;

$$V_{1m} = q \cdot T, \quad (6.29)$$

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

$$V_{2m} = 0,01 \cdot \pi \cdot P_2 \cdot (r_1^2 \cdot L_1 + r_2^2 \cdot L_2 + \dots + r_n^2 \cdot L_n) \quad (6.30)$$

де  $P_2$  – максимальний тиск у трубопроводі за технологічним регламентом, кПа;  $r$  – внутрішній радіус трубопроводів, м;  $L$  – довжина трубопроводів від аварійного апарата до засувок, м.

Маса парів рідини  $m$ , кг, які надійшли у довкілля за наявності декількох джерел випаровування (поверхня розлитої рідини, поверхня зі свіжо нанесеної рідини, відкриті посудини тощо), визначається за формулою:

$$m = m_p + m_{\text{смк.}} + m_{\text{нов.}} + m_{\text{перег.}} \quad (6.31)$$

де  $m_p$  – маса рідини, що випарувалася з поверхні розливу, кг;  $m_{\text{смк.}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь відкритих посудин, кг;  $m_{\text{нов.}}$  – маса рідини, що випарувалася з поверхонь, на які нанесена рідина, що застосовується, кг;  $m_{\text{перег.}}$  – маса рідини, що випарувалася у довкілля простір у випадку її перегрівання, кг.

При цьому, кожен з складових у формулі (6.31) визначають з рівняння:

$$m = W \cdot F \cdot T \quad (6.32)$$

де  $W$  – інтенсивність випаровування,  $\text{кг}/\text{с} \cdot \text{м}^2$ ;  $F$  – площа випаровування,  $\text{м}^2$ , що визначається залежно від маси рідини  $m$ , яка вийшла у навколишній простір;  $T$  – тривалість надходження парів легкозаймистих та горючих рідин до навколишнього простору, с.

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

$$m_{\text{пер.}} = \min \left\{ 0,8 \cdot m_{\text{п.}}; \frac{2C_p \cdot (T_a - T_{\text{кип.}})}{L_{\text{вин}}} \cdot m_n \right\} \quad (6.33)$$

де  $m_{II}$  – маса перегрітої рідини, що вийшла назовні, кг;  $C_p$  – питома теплоємність рідини при температурі перегрівання рідини  $T_a$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;  $T_a$  – температура перегрітої рідини відповідно до технологічного регламенту в технологічному апараті або обладнанні, К;  $T_{кин}$  – нормальна температура кипіння рідини, К;  $L_{eun}$  – питома теплота випаровування рідини при температурі перегріву рідини  $T_a$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

Якщо аварійна ситуація пов'язана з можливим надходженням рідини у розпиленому стані, то вона має бути врахована у формулі (6.30) шляхом введення додаткової складової, що враховує загальну масу рідини, яка надійшла від пристроїв, що розпорозують, виходячи з тривалості їхньої роботи.

Інтенсивність випаровування  $W$  визначають за довідковими та експериментальними даними. Для ненагрітих ЛЗР, у разі відсутності даних, допускається розраховувати  $W$  за формулою:

$$W = 10^{-6} \cdot \sqrt{M} \cdot P_H, \quad (6.34)$$

де  $M$  – молярна маса, г-моль<sup>-1</sup>;  $P_H$  – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини, кПа.

Для скраплених вуглеводневих газів (СВГ), у разі відсутності даних допускається розраховувати питому масу випарованого СВГ  $m_{свг}$ , з проливу,  $\text{кг}/\text{м}^2$ , за формулою:

$$m_{свг} = \frac{M}{L_{eun}} \cdot (T_0 - T_{Г}) \cdot \left( 2 \cdot \lambda_{ТВ} \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot a}} + \frac{5,1 \cdot \sqrt{\text{Re} \cdot \lambda_6 \cdot t}}{d} \right) \quad (6.35)$$

де  $M$  – молярна маса СВГ, кг·моль<sup>-1</sup>;  $L_{eun}$  – мольна теплота випаровування СВГ при початковій температурі  $T_{Г}$ ,  $\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$ ;  $T_0$  – початкова температура матеріалу, на поверхню якого розливається СВГ, К;  $T_{Г}$  – початкова температура СВГ, К;  $\lambda_{ТВ}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, на поверхню якого розливається СВГ,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;  $a = \frac{\lambda_{ТВ}}{C_{TM} \cdot \rho_{ТВ}}$  – коефіцієнт температуропровідності

матеріалу, на поверхню якого розливається СВГ,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $C_{TM}$  – теплоємність матеріалу, на поверхню якого розливається СВГ,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;  $\rho_{ТВ}$  – густина матеріалу, на поверхню якого розливається СВГ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t$  – поточний час, с, який приймається рівним часу повного випаровування СВГ, але не більше 3600 с;  $\text{Re} = \frac{U \cdot d}{\nu}$  число Рейнольдса;  $U$  – швидкість повітряного потоку,  $\text{м}/\text{с}^1$ ;

$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_6}{\pi}}$  – характерний розмір розливу СВГ, м;  $\nu$  – кінематична в'язкість повітря,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\lambda_y$  – коефіцієнт теплопровідності повітря,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

Формула (30) справедлива для СВГ з температурою  $T_e < T_{кин}$ . При температурі СВГ  $T_{Г} > T_{кин}$  додатково розраховується маса перегрітих СВГ  $m_{пер}$  за формулою (32).



## Розрахунок значень критеріїв вибухопожежної і пожежної небезпеки для горючих газів і парів

### Розрахунок горизонтальних розмірів зон

Розрахунок горизонтальних розмірів зон, що обмежують газо- і пароповітряні суміші з концентрацією горючої речовини вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я ( $C_{HKMP}$ ) у разі аварійного надходження до відкритого простору обчислюють за формулами:

- для горючих газів (ГГ):

$$R_{HKMP} = 14,5632 \cdot \left( \frac{m_G}{\rho_G \cdot C_{HKMP}} \right)^{0,333} \quad (6.36)$$

- для парів нагрітих легкозаймистих рідин (ЛЗР) :

$$R_{HKMP} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \cdot \left( \frac{P_H}{C_{HKMP}} \right)^{0,813} \cdot \left( \frac{m_{II}}{\rho_{II} \cdot P_H} \right)^{0,333} \quad (6.37)$$

$$\rho_{G,II} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)} \quad (6.38)$$

де  $m_G$  – маса ГГ, що надійшли до відкритого простору під час аварійної ситуації, кг;  $\rho_G$  – густина ГГ при розрахунковій температурі й атмосферному тиску, кг/м<sup>3</sup>;  $m_{II}$  – маса парів ЛЗР, що надійшли до відкритого простору за час повного випаровування, але не більше 3600 с, кг;  $\rho_{II}$  – густина парів ЛЗР при розрахунковій температурі й атмосферному тиску, кг/м<sup>3</sup>;  $P_H$  – тиск насичених парів ЛЗР при розрахунковій температурі, кПа;  $K$  – коефіцієнт, що приймається рівним  $K=T/3600$  для ЛЗР;  $T$  – тривалість надходження парів ЛЗР до відкритого простору, с;  $C_{HKMP}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я ГГ або парів ЛЗР, % (об.);  $M$  – молярна маса, кг/кмоль;  $V_0$  – мольний об'єм, рівний 22,413 м<sup>3</sup>/кмоль;  $t_p$  – розрахункова температура, °С. У якості розрахункової температури слід приймати максимально можливу температуру повітря у відповідній кліматичній зоні або максимально можливу температуру повітря за технологічним регламентом з урахуванням можливого підвищення температури у випадку аварійної ситуації. Якщо такого значення розрахункової температури  $t_p$ , за будь-якими причинами визначити не вдасться, допускається приймати її рівною 61 °С.

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

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

Виходячи з розглянутого сценарію аварії, визначається маса  $m$ , кг, горючих газів і (або) парів, що потрапили до атмосфери з технологічного апарата.

Величину надлишкового тиску  $P$ , кПа, що розвивається у разі згоряння газопароповітряних сумішей, визначають за формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot (0,8 \cdot m_{\text{пр}}^{0,33} / r + 3 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66} / r^2 + 5 \cdot m_{\text{пр}} / r^3) \quad (6.39)$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа);  $r$  – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, м;  $m_{\text{пр}}$  – приведена маса газу або пари, кг, обчислюється за формулою:

$$m_{\text{пр}} = (Q_H / Q_0) \cdot m \cdot Z \quad (6.40)$$

де  $Q$  – питома теплота згоряння газу або пари, Дж/кг;  $Z$  – коефіцієнт участі горючих газів і парів у горінні, який допускається приймати рівним 0,1;  $Q_0$  – константа, рівна  $4,52 \cdot 10^6$  Дж/кг;  $m$  – маса горючих газів і (або) парів, які надійшли в результаті аварії до навколишнього простору, кг.

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

$$i = \frac{123 \cdot m_{\text{пр}}^{0,66}}{r} \quad (6.41)$$

де  $r$  – відстань від геометричного центра газопароповітряної хмари, м;  $m_{\text{пр}}$  – приведена маса газу або пари, кг.

### Розрахунок значень критеріїв пожежної небезпеки для горючого пилу

Як розрахунковий варіант аварії для визначення критеріїв пожежної небезпеки для горючого пилу слід вибирати найбільш несприятливий варіант аварії або період нормальної роботи апаратів, при якому в горінні пилоповітряної суміші бере участь найбільша кількість речовин або матеріалів, які є найбільш небезпечні щодо наслідків такого горіння.

Кількість речовин, які вийшли з установки і можуть утворювати горючі пилоповітряні суміші, визначають, виходячи з того, що в момент розрахункової аварії відбулася планова (ремонтні роботи) або раптова розгерметизація одного з технологічних апаратів, за якої відбувся аварійний викид у довкілля пилу, який обертася в апараті.

Розрахункову масу пилу, що надійшов у довкілля у разі розрахункової аварії, визначають за формулою:

$$m = m_{\text{зв}} + m_{\text{ав}}, \quad (6.42)$$

де  $m$  – розрахункова маса горючого пилу, який надійшов у довкілля, кг,  $m_{\text{зв}}$  – розрахункова маса пилу, який завихрився, кг;  $m_{\text{ав}}$  – розрахункова маса пилу, який надійшов в результаті аварійної ситуації, кг.

Величина  $m_{\text{зв}}$  визначається за формулою:

$$m_{\text{зв}} = K_z \cdot K_{\text{звж}} \cdot m_n, \quad (6.43)$$

де  $K_z$  – частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу;  $K_{\text{звж}}$  – частка відкладеного поблизу апарата пилу, який здатен перейти у зважений стан в результаті аварійної ситуації. У разі відсутності експериментальних даних про величину  $K_{\text{звж}}$  допускається приймати  $K_{\text{звж}} = 0,9$ ;  $m_n$  – маса пилу, який відклався поблизу апарата до моменту аварії, кг.

Величина  $m_{\text{ав}}$  визначається за формулою:

$$m_{as} = (m_{an} + q \cdot T) \cdot K_n, \quad (6.44)$$

де  $m_{an}$  – маса горючого пилу, що викидається у довкілля у разі розгерметизації технологічного апарата, кг, за відсутності обмежуючих викид пилу інженерних пристроїв слід вважати, що у момент розрахункової аварії відбувається аварійний викид у довкілля всього пилу, який знаходився в апараті;  $q$  – витрата, з якою продовжується надходження пилоподібних речовин до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекивання,  $кг \cdot с^{-1}$ ;  $T$  – розрахунковий час перекивання, с, який визначається у кожному конкретному випадку, виходячи з реальної обстановки, слід приймати таким, що дорівнює часу спрацьовування системи автоматики, якщо ймовірність її відмови не перевищує 0,000001 на рік або забезпечується резервування її елементів (але не більше 120 с); 120 с, у разі якщо ймовірність відмови системи автоматики перевищує 0,000001 на рік і не забезпечується резервування її елементів; 300 с у разі ручного перекивання;  $K_n$  – коефіцієнт пилення, який є відношенням маси завислого у повітрі пилу до всієї маси пилу, який вийшов з апарата. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення  $K_n$  допускається приймати його: 0,5 – для пилу з дисперсністю не менше 350 мкм; 1,0 – для пилу з дисперсністю менше 350 мкм.

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

а) визначають приведену масу горючого пилу  $m_{np}$ , кг, за формулою:

$$m_{np} = \frac{m \cdot Z \cdot H_T}{H_{TO}}, \quad (6.45)$$

де  $m$  – маса горючого пилу, який надійшов в результаті аварії у довкілля, кг;  $Z$  – коефіцієнт участі пилу в горінні, значення якого допускається приймати рівним 0,1. В окремих обґрунтованих випадках величина  $Z$  може бути зменшена, але не менше ніж до 0,02;  $H_T$  – теплота згоряння пилу,  $Дж \cdot кг^{-1}$ ;  $H_{TO}$  – константа, яка приймається рівною  $4,6 \cdot 10^6 Дж \cdot кг^{-1}$ .

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

$$\Delta P = P_0 \cdot (0,8 \cdot m_{np}^{0,33} / r + 3 \cdot m_{np}^{0,66} / r^2 + 5 \cdot m_{np} / r^3), \quad (6.46)$$

де  $r$  – відстань від центра пилоповітряної хмари, м. Допускається вимірювати величину  $r$  від геометричного центра технологічної установки;  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа.

Значення імпульсу хвилі тиску  $i$   $Па \cdot с$ , обчислюють за формулою:

$$i = 123 \cdot m_{np}^{0,66} / r, \quad (6.47)$$

де  $r$  – відстань від центра пилоповітряної хмари, м;  $m_{np}$  – приведена маса горючого пилу, кг.

### Методика розрахунку інтенсивності теплового випромінювання

Інтенсивність теплового випромінювання розраховують для двох випадків пожежі (або для того з них, який може бути реалізований у цій технологічній установці):

- пожежа розливів ЛЗР, ГР або горіння твердих горючих матеріалів (включаючи горіння пилу);

• "вогненна куля" – великомасштабне дифузійне горіння, що реалізується у разі розриву резервуара з горючою рідиною або газом під тиском із займанням вмісту резервуара.

Якщо можлива реалізація обох варіантів, то під час оцінки значень критерію пожежної небезпеки, враховується найбільше з двох значень інтенсивності теплового випромінювання.

Інтенсивність теплового випромінювання  $q$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , для пожежі розливу рідини або при горінні твердих матеріалів обчислюють за формулою:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \quad (6.48)$$

де  $E_f$  – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання з полум'я,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $F_q$  – кутовий коефіцієнт опромінення;  $\tau$  – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Значення  $E_f$  приймається на основі наявних експериментальних даних. Для деяких рідких вуглеводневих палив зазначені дані наведені у таблиці 8.

У разі відсутності даних допускається приймати величину  $E_f$  рівною: 100  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  для СВГ; 40  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  для нафтопродуктів; 40  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$  для твердих матеріалів.

**Таблиця 6.6**

Середньоповерхнева густина теплового випромінювання полум'я залежно від діаметра вогнища і питома масова швидкість вигорання для деяких рідких вуглеводневих палив

Паливо	$E_f$ , $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$					M, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
	$d=20$ м	$d=20$	$d=30$ м	$d=40$ м	$d=50$ м	
СВГ (метан)	220	180	150	130	120	0,08
СВГ (пропан- бутан)	80	63	50	43	40	0,10
Бензин	60	47	35	28	25	0,06
Дизельне паливо	40	32	25	21	18	0,04
Нафта	25	19	15	12	10	0,04

Розраховують ефективний діаметр розливу  $d$  за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \quad (6.48)$$

де  $F$  – площа розливу,  $\text{м}^2$ .

Обчислюють висоту полум'я  $H$ , м, за формулою:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left( \frac{M_v}{\rho_n \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \quad (6.49)$$

де  $M_v$  – питома масова швидкість вигорання палива,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\rho_{\text{п}}$  – густина навколишнього повітря,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $g=9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$  – прискорення вільного падіння. Визначають кутовий коефіцієнт опромінення  $F_q$  за формулами:

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_H^2}, \quad (6.50)$$

де  $F_v, F_H$  – фактори опромінення для вертикальної і горизонтальної поверхонь відповідно, які визначаються за допомогою нижченаведених формул:

$$F_v = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{S} \cdot \arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2-1}}\right) - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}}\right) - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}}\right) \right\} \right], \quad (6.51)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}}\right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}}\right) \right], \quad (6.52)$$

$$A = (h^2 + S^2 + 1)/(2 \cdot S), \quad (6.53)$$

$$B = (1 + S^2)/(2 \cdot S), \quad (6.54)$$

$$S = 2 \cdot r / d, \quad (6.55)$$

$$h = 2 \cdot H / d, \quad (6.56)$$

де  $r$  – відстань від геометричного центра розливу до об'єкта, що опромінюється, м.

Визначають коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу за формулою:

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)], \quad (6.57)$$

Інтенсивність теплового випромінювання  $q$ ,  $\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ , для "вогненної кулі" обчислюють за формулою (46).

Величину  $E_f$  визначають на основі наявних експериментальних даних. Допускається приймати  $E_f$  рівною  $450 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Значення  $F_q$  обчислюють за формулою:

$$F_q = \frac{H / D_s + 0,5}{4 \cdot \left[ (H / D_s + 0,5)^2 + (r / D_s)^2 \right]^{1,5}}, \quad (6.58)$$

де  $H$  – висота центра "вогненної кулі", м;  $D_s$  – ефективний діаметр "вогненної кулі", м;  $r$  – відстань від об'єкта, що опромінюється, до точки на поверхні землі безпосередньо під центром "вогненної кулі", м.

Ефективний діаметр "вогненної кулі"  $D_s$ , м, визначають за формулою:

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327}, \quad (6.59)$$

де  $m$  – маса горючої речовини, кг.

Значення  $H$  визначають у ході спеціальних досліджень. Допускається приймати величину  $H$  рівною  $D_s/2$ .

Час існування "вогненної кулі"  $t_s$ , с, визначають за формулою:

$$t_s = 0,92 \cdot m^{0,303}, \quad (6.60)$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу розраховують за формулою:

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s / 2)], \quad (6.61)$$

## Розрахункове визначення значення коефіцієнта $Z$ участі горючих газів і парів ненагрітих легкозаймистих рідин у вибуху

Нижченаведені матеріали застосовуються для випадку:

$$100 \cdot m / (\rho_{z,n} \cdot V_{\text{вільн.}}) < 0,5 \cdot C_{\text{нкмпп}} ,$$

де  $C_{\text{нкмпп}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я газу або пари, % (об.) для приміщень у формі прямокутного паралелепіпеда з відношенням довжини до ширини не більше 5. Коефіцієнт  $Z$  участі горючих газів і парів легкозаймистих рідин у вибуху при заданому рівні значимості розраховується за формулами:

$$\begin{aligned} & \text{при } X_{\text{нкмпп}} \leq \frac{1}{2}L \text{ та } Y_{\text{нкмпп}} \leq \frac{1}{2}S \\ Z &= \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \cdot \rho_{\Gamma, \Pi} \left( C_0 + \frac{C_{\text{нкмпп}}}{\delta} \right) \cdot X_{\text{нкмпп}} \cdot Y_{\text{нкмпп}} \cdot Z_{\text{нкмпп}} \end{aligned} \quad (6.62)$$

$$\begin{aligned} & \text{при} \\ & X_{\text{нкмпп}} > \frac{1}{2}L \text{ та } Y_{\text{нкмпп}} > \frac{1}{2}S \\ Z &= \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi}{m} \cdot \rho_{\Gamma, \Pi} \left( C_0 + \frac{C_{\text{нкмпп}}}{\delta} \right) \cdot F \cdot Z_{\text{нкмпп}} \end{aligned} \quad (6.63)$$

де  $C_0$  – предекспоненціальний множник, % (об.), рівний:

у разі відсутності рухливості повітряного середовища для горючих газів

$$C_0 = 3,77 \cdot 10^3 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{вільн.}}} , \quad (6.64)$$

у разі рухливості повітряного середовища для горючих газів

$$C_0 = 3 \cdot 10^2 \cdot \frac{m}{\rho_{\Gamma} \cdot V_{\text{вільн.}} \cdot U} , \quad (6.65)$$

у разі відсутності рухливості повітряного середовища для парів легкозаймистих рідин

$$C_0 = C_H \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_H \cdot \rho_n \cdot V_{\text{вільн.}}} \right)^{0,41} , \quad (6.66)$$

у разі рухливості повітряного середовища для парів легкозаймистих рідин

$$C_0 = C_H \cdot \left( \frac{m \cdot 100}{C_H \cdot \rho_n \cdot V_{\text{вільн.}}} \right)^{0,46} , \quad (6.67)$$

де  $m$  – маса газу або парів ЛЗР, що надходять до об'єму приміщення відповідно до розділу 5, кг;  $\delta$  – допустимі відхилення концентрації при рівні значимості, що задається,  $Q$  ( $C > C$ ), наведені в таблиці Д1;  $X_{\text{инкмпп}}$ ,  $Y_{\text{инкмпп}}$ ,  $Z_{\text{инкмпп}}$  – відстані по осях  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  від джерела надходження газу або пари, які обмежені нижньою концентраційною межею поширення полум'я відповідно, м; розраховуються за формулами (10-12) додатка;  $L$ ,  $S$  – довжина і ширина приміщення, м;  $F$  – площа підлоги приміщення,  $\text{м}^2$ ;  $U$  – рухливість повітряного середовища,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $C_H$  – концентрація насичених парів при розрахунковій температурі  $t_p$ , °C, повітря у приміщенні, % (об.).

Концентрацію  $C_H$  обчислюють за формулою:

$$C_n = 100 \cdot \frac{P_H}{P_0}, \quad (6.68)$$

де  $P_H$  – тиск насичених парів при розрахунковій температурі (приймається за довідковою літературою), кПа;  $P_0$  – атмосферний тиск, рівний 101 кПа.

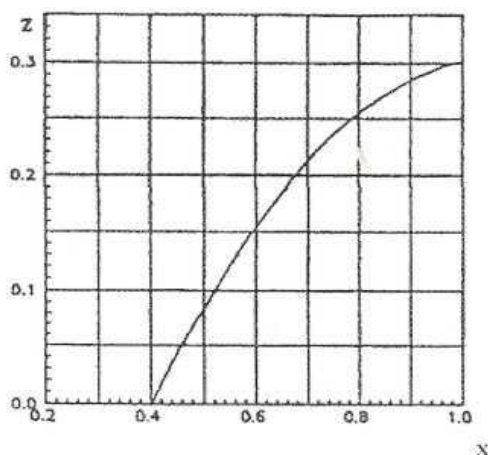
**Таблиця 6.7**

Значення допустимих відхилень концентрації  
при рівні значимості  $Q(C > \bar{c})$

Характер розподілу концентрацій	$Q(C > \bar{c})$	$\delta$
Для горючих газів при відсутності рухливості повітряного середовища	0,1	1,29
	0,05	1,38
	0,01	1,53
	0,003	1,63
	0,001	1,70
	0,000001	2,04
Для горючих газів при рухливості повітряного середовища	0,1	1,29
	0,05	1,37
	0,01	1,52
	0,003	1,62
	0,001	1,70
	0,000001	2,03
Для парів легкозаймистих рідин при відсутності рухливості повітряного середовища	0,1	1,19
	0,05	1,25
	0,01	1,35
	0,003	1,41
	0,001	1,46
	0,000001	1,68
Для парів легкозаймистих рідин при рухливості повітряного середовища	0,1	1,21
	0,05	1,27
	0,01	1,38
	0,003	1,45
	0,001	1,51
	0,000001	1,75

Рівень значимості  $Q(C > \bar{c})$  вибирається, виходячи з особливостей технологічного процесу. Допускається приймати  $Q(C > \bar{c})$  рівним 0,05.

1. Значення коефіцієнта  $Z$  участі парів легкозаймистих рідин у вибуху може бути визначене за графіком, який наведено на рисунку 6.1.



**Рисунок 6.1**– Значення коефіцієнта  $Z$  участі парів легкозаймистих рідин у вибуху.

Значення  $X$  визначаються за формулою:

$$X = \begin{cases} C_H / C^*, & \text{якщо } C_H \leq C^* \\ 1, & \text{якщо } C_H > C^* \end{cases}, \quad (6.69)$$

де  $C^*$  – величина, що задається співвідношенням

$$C^* = \varphi \cdot C_{CT}, \quad (6.70)$$

де  $\varphi$  – ефективний коефіцієнт надлишку горючої речовини, який приймається рівним 1,9.

2. Відстані  $X_{HKMP}$ ,  $Y_{HKMP}$  і  $Z_{HKMP}$  розраховуються за формулами:

$$X_{HKMP} = K_1 \cdot L \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{HKMP}} \right)^{0,5}, \quad (6.71)$$

$$Y_{HKMP} = K_1 \cdot S \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{HKMP}} \right)^{0,5}, \quad (6.72)$$

$$Z_{HKMP} = K_3 \cdot H \cdot \left( K_2 \cdot \ln \frac{\delta \cdot C_0}{C_{HKMP}} \right)^{0,5}, \quad (6.73)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, який приймається рівним 1,1314 для горючих газів і 1,1958 для легкозаймистих рідин;  $K_2$  – коефіцієнт, який приймається таким, що дорівнює 1 для горючих газів і  $K_2 = \tau/3600$  для легкозаймистих рідин;  $K_3$  – коефіцієнт, який приймається рівним 0,0253 для горючих газів за відсутності рухливого повітряного середовища; 0,02828 для горючих газів при рухливому повітряному середовищі; 0,04714 для легкозаймистих рідин за відсутності рухливого повітряного середовища і 0,3536 для легкозаймистих рідин при рухливому повітряному середовищі;  $H$  – висота приміщення, м.

При мінусових значеннях логарифмів відстані  $X_{HKMP}$ ,  $Y_{HKMP}$  і  $Z_{HKMP}$  приймаються рівними 0.



## Запитання та завдання для самоконтролю

1. Згідно з яким нормативним документом здійснюється визначення категорій приміщень, будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою?
2. На які приміщення і будинки не поширюється ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою»?
3. Сформулюйте визначення категорії будинку чи приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
4. Ким визначаються категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок?
5. У яких технологічних документах міститься інформація про категорії приміщень, будинків чи зовнішніх установок?
6. Як позначають категорії приміщень, будинків і зовнішніх установок на підприємстві? Яким нормативним документом при цьому керуються?
7. Як розвивалась методика визначень категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною і пожежною небезпекою?
8. Чому в якості допустимої величини надлишкового тиску вибуху прийнято значення 5 кПа?
9. Яка послідовність визначення категорій приміщень за вибухопожежною і пожежною небезпекою?
10. Наведіть приклади приміщень категорій А, Б, В, Г, Д та зовнішніх установок категорій А<sub>з</sub>, Б<sub>з</sub>, В<sub>з</sub>, Г<sub>з</sub>, Д<sub>з</sub>.
11. Визначити категорії приміщень. Найменування речовин, які обертаються в приміщенні, та надлишковий тиск вибуху вказаних речовин наведені у таблиці.

Найменування речовин, які обертаються в приміщенні	Надлишковий тиск вибуху вказаних речовин чи їх парів, кПа	Питоме пожежне навантаження на ділянках площею більше 10 м <sup>2</sup> , МДж/м <sup>2</sup>
Етилен	10,5	–
Пропан	2,7	–
Бензин	78,6	370
Бензол	4,6	210
Ацетон	3,6	160
Дизельне паливо марки АВТ	12,3	205
Гас марки КО-22	2,7	190
Тютюновий пил	4,6	60
Пил полістиролу	3,1	223
Борошняний пил	26,8	185

12. Як визначають вільний об'єм приміщення?
13. Із яких передумов виходять, визначаючи кількість речовин, які можуть утворювати вибухонебезпечні газоповітряні, пароповітряні або пилоповітряні суміші?
14. Як визначають тривалість випаровування?

15. Як визначають розрахунковий час від'єднання трубопроводів?
16. Який варіант аварії або період нормальної роботи апаратів приймають в якості розрахункового при визначенні категорій?
17. Як за відсутності довідкових даних визначають площу розливу?
18. Відділення стиснення етилену розташоване у виробничому приміщенні з розмірами в плані 20x12x9 м. Цех обладнано аварійною вентиляцією з кратністю повітрообміну  $A=6$ . В приміщенні цеху знаходиться компресор, який підвищує тиск етилену, що надходить з магістрального трубопроводу, з 1,1 МПа до 27,5 МПа. Діаметр трубопроводів з етиленом  $d=150$  мм, температура етилену сягає 130 °С. Визначити категорію приміщення.
19. Через приміщення з розмірами в плані 12x10x4 м прокладено трубопровід діаметром 50 мм, яким транспортується водень з максимальною витратою  $q=5$  л/с при максимальному тиску  $P_p=150$  кПа. Трубопровід оснащено системою автоматичного від'єднання ( $\tau=2$ с). Засувки встановлені перед стінкою у місці вводу трубопроводу і за стінкою даного приміщення. Довжина ділянки трубопроводу, що відсікається засувками дорівнює 12 м. Температура в приміщенні 25 °С. Визначити категорію приміщення.
20. Ацетон знаходиться в апараті з максимальним об'ємом заповнення  $V_{\text{ап}}=0,07$  м<sup>3</sup>. Довжина напірного ( $L_1$ ) і відвідного трубопроводів ( $L_2$ ) від апарата до засувок  $L_1=L_2=3$  м, діаметр трубопроводу  $d=0,05$  м. Продуктивність насоса  $q=0,01$  м<sup>3</sup>/хв. Відключення насоса автоматичне. Розміри виробничого приміщення в плані 48x24x9 м. Кратність аварійної вентиляції дорівнює  $A=10$  год<sup>-1</sup>. Швидкість повітряного потоку в приміщенні при роботі аварійної вентиляції дорівнює 1,0 м/с. Температура ацетону дорівнює температурі повітря і становить 20 °С.
21. Визначити категорію ізотермічного резервуара для зберігання скрапленого етилену об'ємом  $V=100000$  м<sup>3</sup>, який встановлено в бетонному обвалуванні площею  $S=5184$  м<sup>2</sup> і висотою  $H_{\text{обв.}}=2,2$  м. Ступінь заповнення резервуара  $\varepsilon=0,95$ . Ввід трубопроводу подачі скрапленого етилену в резервуар виконаний зверху, а вивід відвідного трубопроводу – знизу. Діаметр трубопроводів  $d_{\text{тр.}}=0,25$  м. Довжина ділянки трубопроводу від резервуара до засувок  $l=1$ м. Витрата скрапленого етилену  $q=3,1944$  кг/с, його густина при температурі експлуатації  $T_{\text{експ.}}=169,5$  К  $\rho=2,0204$  кг/м<sup>3</sup>.
22. Станція для виробництва розчиненого ацетилену розташована в одноповерховому будинку розмірами в плані 70x40x4 м. В будинку є такі приміщення: наповнювальне відділення (категорія А) площею 1000 м<sup>2</sup>, компресорне відділення (категорія А) – 500 м<sup>2</sup>, цех ремонту балонів (категорія Д) – 600 м<sup>2</sup>, моторна (категорія В) – 100 м<sup>2</sup>, побутові приміщення (категорія Д) – 100 м<sup>2</sup>. Визначити категорію виробничого будинку.

**ЧАСТИНА II**

**ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА**  
**ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**  
**ВИРОБНИЦТВ**

## РОЗДІЛ 7

### ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРОЦЕСІВ ЗБЕРІГАННЯ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ

#### 7.1. Пожежна безпека процесів зберігання горючих газів

Газова промисловість займає провідне місце в паливно-енергетичному балансі більшості країн світу і відіграє надзвичайно важливу роль у їх економіці та політиці. Значення газу виходить далеко за межі провідного теплоносія. Його використовують як сировину для виробництва багатьох хімічних продуктів, зокрема, вуглеводневі гази (метан, етан, пропан, бутан, етилен, ацетилен) використовують при виробництві пластмас, синтетичних каучуків, хімічних волокон; водень, хлорид водню, оксид вуглецю – для отримання продуктів органічного синтезу; аміак – в холодильній техніці, для виробництва міндобрив. Поряд із промисловим використанням, такі гази як пропан, бутан, використовують у побуті. Крім індивідуальних газів широко використовують багатокомпонентні горючі гази, зокрема, нафтовий, коксовий, генераторний, природний.

Природний газ в Україні зберігається у 13 підземних сховищах з активним об'ємом газу – більше 32 млрд. м<sup>3</sup> чи 21,3% від загальноєвропейської активної ємності. Мережа підземного зберігання включає чотири комплекси: Західноукраїнський (Передкарпатський), Київський, Донецький, Південноукраїнський.

Існує три фізичні стани, у яких може знаходитись газ – у газоподібному, розчиненому та скрапленому стані. При деякому значенні температури, підвищуючи тиск газу, його можна перетворити у рідину. Однак, для кожного газу є така температура, вище якої він може бути тільки в газоподібному стані. Ця температура називається критичною. Тиск насичених парів, який відповідає критичній температурі, називається критичним тиском. Будь-який газ можна перетворити в рідину змінивши тиск та температуру. У скрапленому стані зберігають аміак, суміші вуглеводнів – пропану, бутану, ізобутану. У розчиненому – ацетилен.

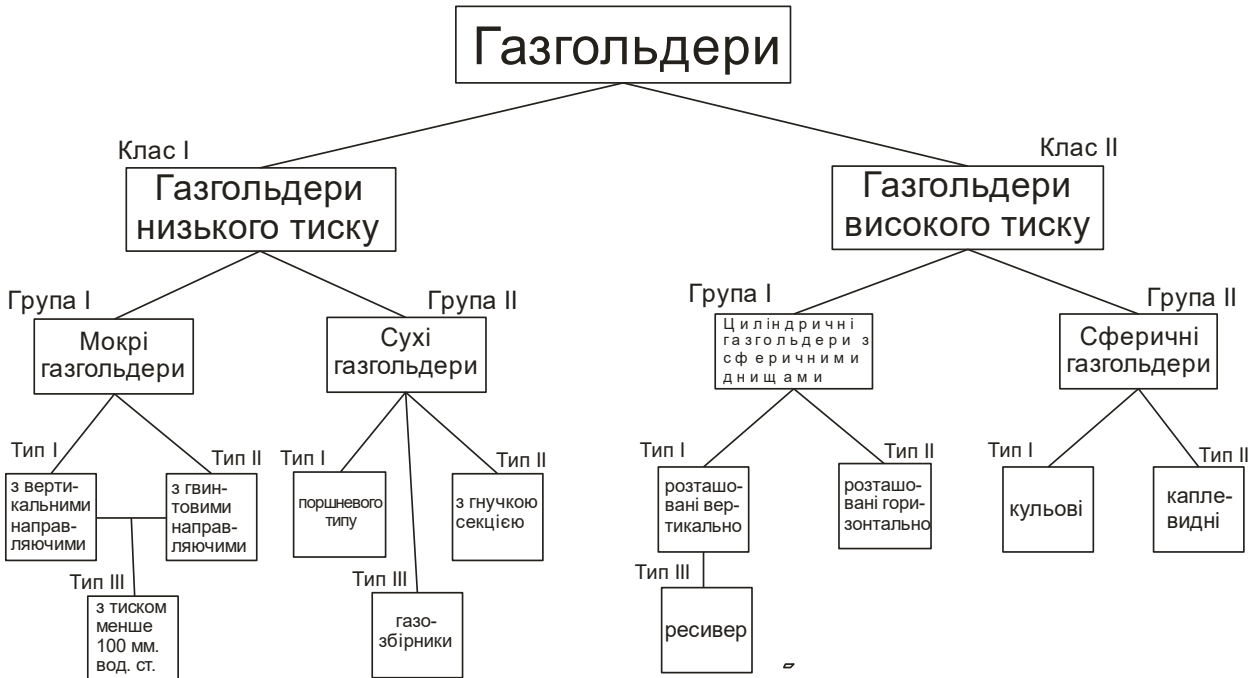
Залежно від фізичного стану, в якому перебуває газ, використовують різноманітні посудини для його зберігання, зокрема, у газгольдерах газ зберігають – у газоподібному стані; в балонах – у стиснутому, розчиненому та скрапленому; в резервуарах – у стиснутому та скрапленому стані.

#### **Зберігання горючих газів в газгольдерах**

Газгольдер (*з англ. gasholder – газосховище*) – інженерна споруда, яка призначена для приймання, зберігання і видачі газу та оснащена спеціальними пристроями для регулювання основних параметрів газу (кількість, склад, концентрація). Згідно з призначенням газгольдери можуть виконувати ряд функцій: тривале чи короткочасне зберігання газу; змішування газів різних складів чи одного газу різних концентрацій; вимірювання кількості газу, що добувається; розподіл газу при наповненні балонів, цистерн; вирівнювання

тиску газу в замкнутій газорозподільній системі; сигналізація про стабільність встановленого технологічного процесу чи порушення його.

Залежно від тиску газгольдери поділяють на два основні класи: низького тиску (до 0,07 МПа) – клас I та високого тиску (від 0,07 до 3 МПа) – клас II (рис. 7.1). Кожен з цих двох класів в свою чергу поділяється на класи і типи.



**Рисунок 7.1** – Класифікація газгольдерів

Суттєва відмінність існує між газгольдерами постійного тиску та газгольдерами постійного об'єму. Газгольдери постійного тиску – посудини змінного об'єму, в яких об'єм газу легко змінюється, а тиск залишається незмінним. В газгольдерах постійного об'єму геометричний об'єм залишається стабільним, а тиск газу можна змінювати у заздалегідь заданих межах залежно від параметрів технологічного процесу, а також міцності і надійності споруди.

Газгольдери низького тиску, як правило, є газгольдерами постійного тиску. За технологічними і конструктивними особливостями їх поділяють на дві групи: мокрі газгольдери (газгольдери з водяним басейном) – група I, сухі газгольдери – група II.

Мокрі газгольдери (газгольдери з водяним басейном) бувають двох типів (рис. 7.2 а, б): мокрі газгольдери з вертикальними напрямними – тип I та мокрі газгольдери з гвинтовими напрямними – тип II. За принципом роботи мокрі газгольдери обох типів є газгольдерами низького тиску і змінного об'єму. Відмінність між ними полягає в системах конструкцій, що сприймають дію горизонтальних сил (вітер, нерівномірний сніг на даху тощо), а також в системі вирівнювання окремих елементів газгольдера при зміні об'єму.

Сухі газгольдери також поділяють на два основні типи (рис. 7.2 в, г): сухі газгольдери поршневого типу – тип I та сухі газгольдери з гнучкою секцією (мембраною) – тип II. Сухі газгольдери обох типів належать до газгольдерів змінного об'єму і постійного тиску.

Газгольдери постійного об'єму експлуатуються при підвищеному і високому тиску газів і відрізняються за геометричною формою. Тиск газу в таких газгольдерах є змінним і зростає при збільшенні об'єму газу, що подається в газгольдер з допомогою спеціальних компресорних пристроїв. За геометричною формою газгольдери постійного об'єму також поділяються на два основні типи:

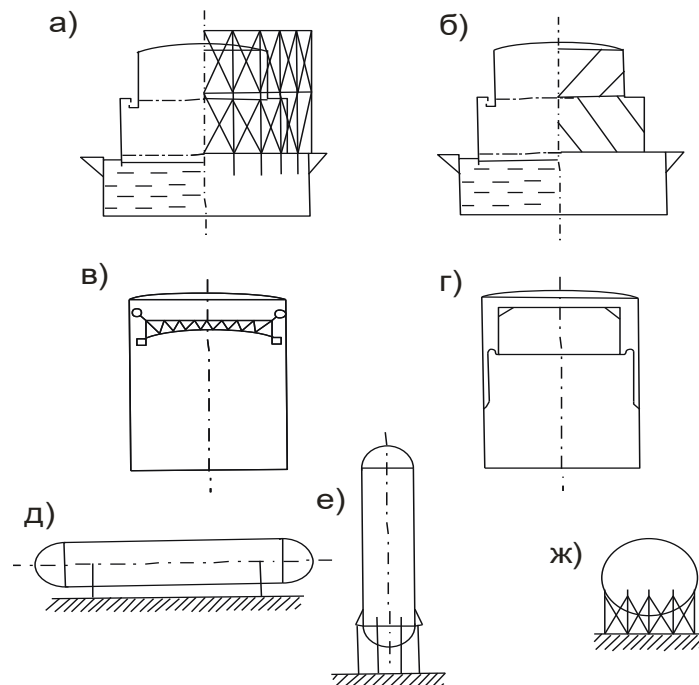
а) циліндричні газгольдери з сферичними днищами, які розташовуються як в горизонтальному, так і у вертикальному положенні (рис. 7.2 д, е);

б) сферичні (кулясті) газгольдери, які опираються на окремі стійки чи на спеціальний стакан – тип II (рис. 7.2 ж).

Газгольдери низького тиску бувають мокрі і сухі, а газгольдери високого тиску – циліндричні зі сферичними днищами (горизонтальними і вертикальними) і сферичні.

Місткість газгольдерів залежить від їх конструкції: мокрих – до 50 000 м<sup>3</sup>, сухих з гнучкою секцією – до 10 000 м<sup>3</sup>, кулястих – від 600 до 2000 м<sup>3</sup>, горизонтальних циліндричних – від 50 до 300 м<sup>3</sup>, вертикальних циліндричних – від 50 до 200 м<sup>3</sup>.

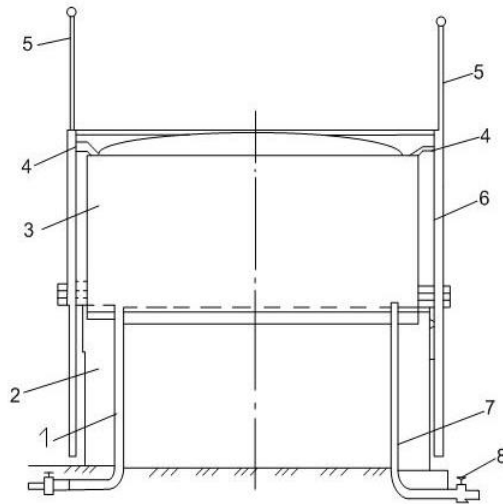
Мокрі газгольдери мають просту конструкцію, надійні в експлуатації і менш небезпечні з пожежної точки зору. Працюють при тиску до 0,07 МПа, який залишається практично незмінним в процесі їх наповнення або спорожнення. Як зазначалось, об'єм мокрих газгольдерів від 100 до 50000 м<sup>3</sup>. З них найбільш поширені газгольдери об'ємом 600, 1000, 6000, 10000, 20000 і 30000 м<sup>3</sup>. Для прикладу – газгольдери об'ємом 30000 м<sup>3</sup> мають діаметр 43,6 м, висоту 33,21 м і масу 642,7 т.



**Рисунок 7.2** – Схеми газгольдерів:

а – мокрий газгольдер низького тиску з вертикальними напрямними; б – мокрий газгольдер низького тиску з гвинтовими напрямними; в – сухий газгольдер поршневого типу; г – сухий газгольдер спеціального типу з гнучкою секцією (мембраною); д – горизонтальний газгольдер постійного об'єму і високого тиску; е – вертикальний газгольдер постійного об'єму і високого тиску; ж – сферичний (кулястий) газгольдер.

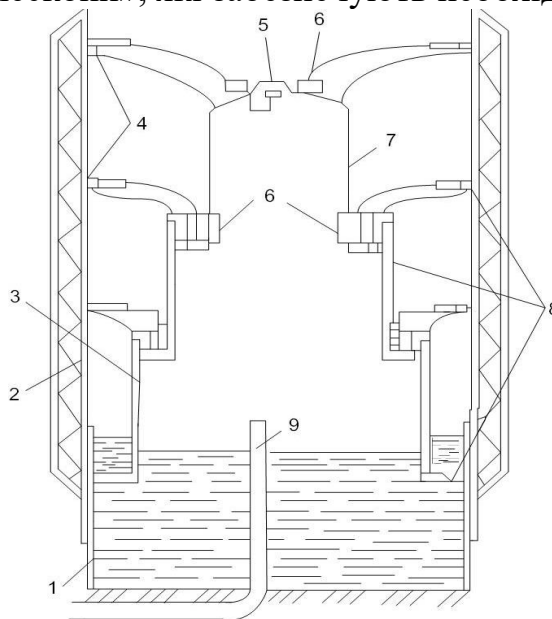
Мокрий газгольдер (рис. 7.3) складається з нерухомого наповненого водою резервуара (2), у якому плаває дзвін (3). Наповнення та спорожнення газгольдера здійснюється газопроводами (1) і (7) відповідно. При наповненні газгольдера дзвін піднімається, а при спорожненні – опускається. Ролики (4) при цьому ковзають по напрямних шинах (6) і у такий спосіб запобігають коливанням і перекосу дзвона.



**Рисунок 7.3** – Схема одноланкового мокрого газгольдера:

1, 7 – газопроводи; 2 – резервуар; 3 – дзвін; 4 – ролики;  
5 – блискавкоприймач; 6 – напрямні шини; 8 – засувки.

Для зберігання великої кількості газу (більше 10000...15000 м<sup>3</sup>) використовують багатоланкові мокрі газгольдери. У триланкових мокрих горизонтальних газгольдерах (рис. 7.4) між резервуаром і дзвоном розташовані проміжні ланки – «телескопи», які забезпечують необхідну місткість.



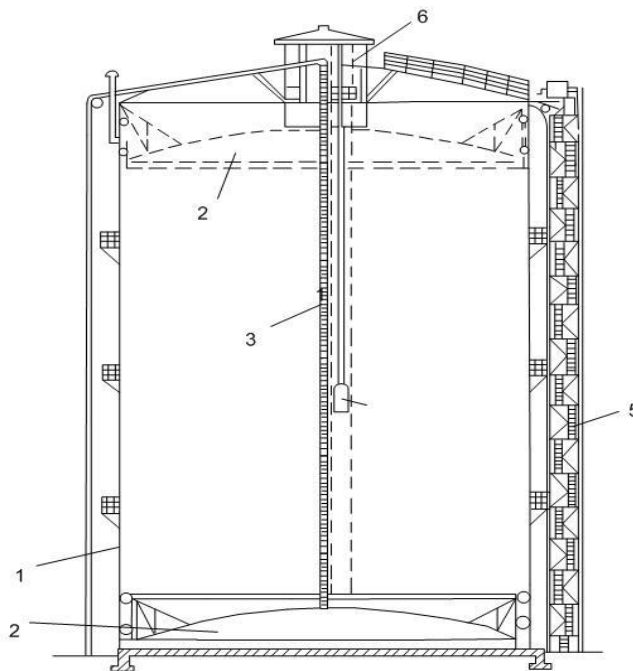
**Рисунок 7.4** – Схема триланкового мокрого газгольдера:

1 – нерухомий резервуар; 2, 3 – напрямні; 4 – верхні ролики телескопів і дзвона; 5 – спеціальний ковпак для запобігання утворенню вакууму; 6 – вантажі; 7 – дзвін; 8 – нижні ролики телескопів і дзвона; 9 – трубопровід

При наповненні газгольдера газом верхні ролики телескопів і дзвона (4) ковзають по напрямним. В результаті тиску газу дзвін (7) піднімається і тягне за собою телескопи. Внутрішнє ковзання телескопів здійснюється з допомогою нижніх роликів (8) по внутрішніх напрямним (3). Напрямні ролики забезпечують горизонтальне положення рухомих ланок при русі їх вгору та вниз.

На нижній кільцевій частині дзвона, верхній і нижній частині ланок (крім останньої) по периметру встановлені жолоби. З їх допомогою дзвін під час підйому захоплює верхню ланку, яка захоплює другу ланку. При піднятті дзвона і ланок жолоби заповнюються водою і створюють гідравлічні затвори, що забезпечують герметичність з'єднань рухомих елементів газгольдера.

У сухих газгольдерів (рис. 7.5) на відміну від мокрих відсутній водяний басейн і нерухомий корпус. Перевагами таких газгольдерів є відсутність пристроїв для підігріву води в холодну пору року, а також те, що в результаті малої маси конструкції значно полегшується виконання фундаменту. Сухі газгольдери більш економічні за витратою сталі на 1 м<sup>3</sup> газу, що зберігається; гази, що в них зберігаються, не звожуються в процесі зберігання.



**Рисунок 7.5** – Схема сухого газгольдера:

1 – корпус; 2 – поршень в нижньому і верхньому положенні; 3 – ланцюгові сходи; 4 – підймальна клітка; 5 – сходи; 6 – ліхтар

У сухих газгольдерів корпус (1) може бути призматичним чи циліндричним. Рухомим елементом сухого газгольдера є поршень (2), який розташований всередині корпусу. Поршень має вигляд жорсткого диска, який щільно притиснений до стінок корпусу з допомогою спеціального еластичного кільцевого затвора. В міру надходження чи відведення газу поршень переміщається вниз чи вгору і утворює змінну посудину для зберігання газу. За відсутності газу поршень перебуває на дні корпусу.

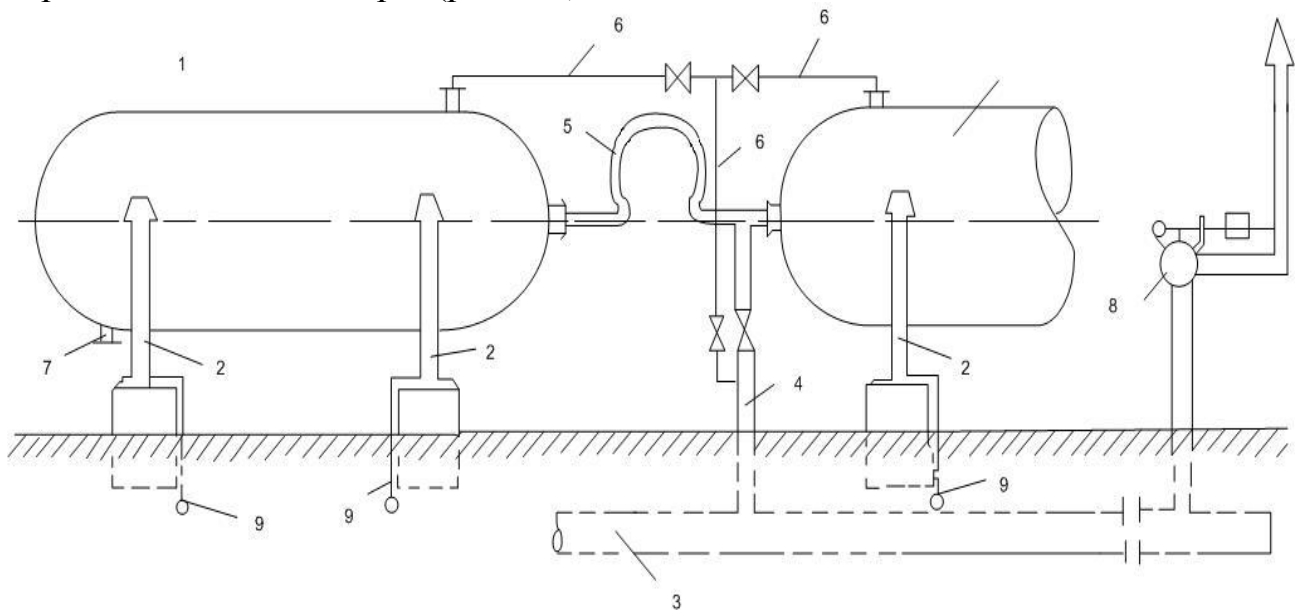


Практично вважають положення поршня сухого газгольдера в межах наповнення від 20 до 80 % нормальним, в межах від 10 до 20% і від 80 до 90% небезпечним, в межах від 0 до 10% і від 90 до 100% аварійним.

Об'єм сухих газгольдерів може сягати 110000 м<sup>3</sup>. Сухі газгольдери складні в експлуатації і пожежонебезпечні. На даний час їх витісняють мокрі газгольдери.

Газгольдери високого тиску і постійного об'єму – замкнена посудина циліндричної чи кулястої форми. Вони працюють при тиску 4 кПа...3 МПа, величина якого змінюється в процесі наповнення і спорожнення.

Найбільш поширеними є циліндричні горизонтальні (рис. 7.6) і вертикальні газгольдери (рис. 7.7).

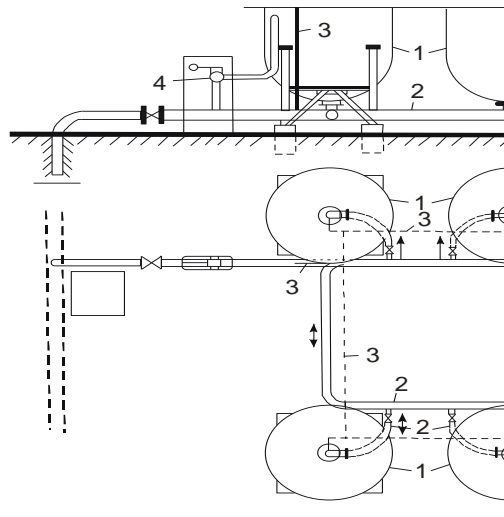


**Рисунок 7.6** – Схема горизонтальних газгольдерів:

- 1 – газгольдери; 2 – опори; 3 – магістральний газопровід; 4 – стояк; 5 – з'єднувальний газопровід у вигляді компенсатора; 6 – обвідна лінія для початкового наповнення; 7 – патрубки для подачі і випуску води; 8 – запобіжний важільний клапан; 9 – заземлення газгольдерів

Горизонтальні газгольдери встановлюють на металеві опори (2), які опираються на залізобетонні фундаменти (рис. 7.6). Газ підводиться до них і відводиться через регуляторні станції. Газгольдери оснащують запобіжними клапанами важільного чи пружинного типу (8).

У вертикальні газгольдери (рис. 7.7) газ надходить через нижній штуцер, який має два патрубки – один для газу, а інший для води (при запуску в роботу). До верхнього люка газгольдера підводиться відгалуження газопроводу для заповнення установки газом при запуску в роботу після випробування.



**Рисунок 7.7** – Схема підведення газу до вертикальних газгольдерів:  
 1 – газгольдери; 2 – газопроводи; 3 – газопроводи для початкового наповнення через верхній люк; 4 – запобіжний клапан

### Пожежна безпека газгольдерів

Газгольдери розташовують, як правило, на відкритих майданчиках (рис. 7.8). Тут не повинно бути нерівностей, місць, що погано продуваються, в яких може нагромаджуватись важчий за повітря горючий газ важчий за повітря.



**Рисунок 7.8** – Розташування газгольдерів на відкритому майданчику.

Протипожежні відстані від газгольдерів для горючих газів до будинків та споруд слід приймати відповідно табл. 15.11 ДБН Б.2.2–12: 2018 «Планування і забудова територій» залежно від виду та об'єму окремих газгольдерів або газгольдерних станцій. Для прикладу деякі з протипожежних відстаней від газгольдерних станцій і окремо розташованих газгольдерів приведені у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Протипожежні відстані від газгольдерних станцій і газгольдерів для горючих газів до будівель і споруд

Будівлі і споруди	Відстані від газгольдерів, м	
	поршневих	постійного об'єму та з водяним басейном
Громадські та житлові будівлі	150	100
Виробничі і допоміжні будівлі промислових підприємств I, II ступенів вогнестійкості	30	24
III, IIIa, IIIб, IV, IVa, V ступенів вогнестійкості	36	30
Промислові печі на відкритому просторі і установки з відкритим вогнем	100	100
Склади ЛЗР місткістю, м <sup>3</sup>		
від 1000 до 2000	42	36
від 500 до 1000	36	30
менше 500	30	24

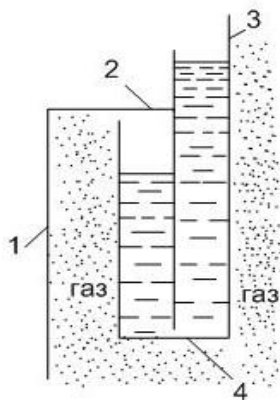
Вказані протипожежні відстані приведені для газгольдерів і газгольдерних станцій об'ємом більше 1000 м<sup>3</sup>. Якщо їх сумарна місткість менша 1000 м<sup>3</sup>, то відстані вказані у таблиці, слід приймати з коефіцієнтом місткості  $k = 0,7$  для 250 м<sup>3</sup> – 1000 м<sup>3</sup>;  $k = 0,5$  для місткостей менших за 250 м<sup>3</sup>.

Газгольдери постійного об'єму (сухі) місткістю до 5 м<sup>3</sup> або мокрі – до 20 м<sup>3</sup> дозволяється розташовувати в генераторних відділеннях (будівлях). Будівлю, де встановлені газгольдери, обладнують припливно-витяжною вентиляцією з механічним приводом, використовуються вибухобезпечні вентилятори чи ежектори. Для провітрювання будівлі у вікнах встановлюють фрамуги, що відчиняються. У випадку підвищеного витікання газу вентиляцію збільшують відчиненням вікон та дверей, встановленням нагнітальних вентиляторів.

При запуску газгольдера для запобігання утворенню горючих концентрацій здійснюють продування системи «газгольдер–газопроводи» негорючими газами: вуглекислим газом, азотом, димовими газами, водяною парою тощо.

Для запобігання виникненню вакууму в мокрих газгольдерах встановлюють над газовідводом спеціальний ковпак. Якщо дзвін перебуває в нижньому положенні, ковпак даху дзвона занурюється у воду на 500 мм, створюючи гідрозатвор. У такий спосіб від'єднують газовий стояк газовідводу від внутрішньої порожнини дзвона. Ковпак з дахом дзвона з'єднується перепускною трубою з вентилями і продувною свічою. При початковому заповненні газгольдера газом, коли ковпак перебуває у воді, відкривають вентиль, і газ перепускною трубою надходить під дзвін. Після виходу ковпака з води вентиль закривають.

Герметичність газгольдерів забезпечують гідрозатворами і газонепроникністю стінок дзвона, телескопів, нерухомого резервуара. Гідрозатвори (рис. 7.10) виключають можливість барботажу газів і переливання води. Вони повинні бути постійно заповнені водою. В процесі експлуатації необхідно стежити за кількістю води в гідравлічних затворах дзвона і в басейні, не допускаючи її зниження за встановлену норму, а також перевіряти справність роботи ліній підживлення води. Часто на поверхню води наливають шар мінеральної оливи, що ускладнює випаровування води і постійно змащує стінки дзвона і ланок. Якщо до проведення ремонту втрату води в затворі неможливо поповнити доливанням, то дзвін газгольдера з ланками опускають настільки, щоб затвор, який протікає, занурився в басейн.

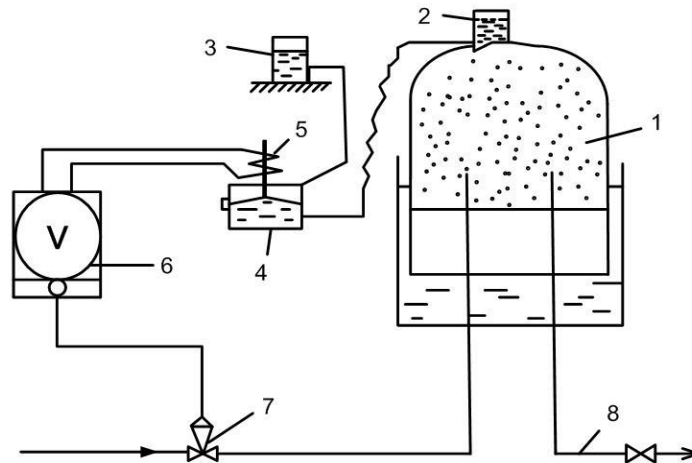


**Рисунок 7.10** – Схема гідравлічного затвора:  
1 – стінка ланки; 2 – верхній кільцевий жолоб затвора; 3 – стінка дзвона; 4 – нижній кільцевий жолоб затвора

Взимку в мокрих газгольдерів, що розташовані на відкритому просторі, передбачається безперервний підігрів води в басейні і гідрозатворах з допомогою водяної пари, яку подають через барботуючі труби в спеціальні ежектори, чи з допомогою гарячої води, яка циркулює по затворах і басейну. При розташуванні газгольдерів в будівлях для запобігання замерзання води в басейні і затворах температура в приміщенні підтримується не менше 5 °С. Для цього будівлю обладнують паровим чи водяним опаленням.

Для захисту від корозії внутрішні і зовнішні поверхні газгольдерів фарбують чи лакують. Метал, з якого виготовлений газгольдер, повинен бути стійкий до впливу корозійних домішок, що містяться в газах. Якщо на внутрішніх стінках газгольдера або газопроводу утворилися сірчисті відкладення (сульфіди заліза), то під час очищення стінок їх постійно звожують, щоб уникнути samozagorannya. Зняті із стінок відкладення складають в металеву тару і вилучають.

Ступінь наповнення газгольдера газом контролюють спеціальними приладами. Як правило для цього використовують механічні і електричні об'ємовказівники і ступінчасту сигналізацію положення дзвона, що допомагає своєчасно вживати заходів при загрозі переповнення газгольдера. Надійний захист від переповнення досягається автоматичним блокуванням (рис. 7.11), що забезпечує перекриття ввідного газопровода при підйомі дзвона у верхнє положення і зупинку двигуна компресора при підвищенні тиску газу вище допустимого.



**Рисунок 7.11** – Схема захисту газгольдера від переповнення:

- 1 – газгольдер; 2 – рухома посудина; 3 – нерухома посудина; 4 – дифманометр;  
 5 – індукційна котушка; 6 – потенціометр; 7 – засувка на наповнювальній лінії;  
 8 – витратна лінія

Газгольдери обладнуються запобіжними клапанами з гідравлічними затворами та системою ручного випуску надлишкового тиску, а також газоскидною трубою для викиду газу (при їх переповненні) в атмосферу чи на факел. Доцільним є дистанційний контроль об'єму газу, а також температури газу і води в резервуарі. На сучасних підприємствах використовують автоматичні системи управління газгольдерами.

Перед ремонтом газгольдер відключають від системи з допомогою герметичних заглушок і продувають негорючими газами. Воду з резервуарів зливають. Вогневі роботи проводять тільки після аналізу повітря на наявність в ньому горючих газів. Перед пуском газгольдера після ремонту продувають його і всю систему негорючими газами з метою витіснення повітря.

Правильний вибір вентиляторів і приводів до них, заземлення газгольдерів і їх комунікацій, використання іскробезпечного інструменту при ремонтних роботах, зрошення водою стінок резервуарів при їх очищенні від сульфідів заліза, блискавкозахист газгольдерів і суворе дотримання правил пожежної безпеки – все це сприяє запобіганню виникненню джерел запалювання.

При пожежі в будівлі газгольдера, швидкому витіканні газу і води, а також при вибуху газгольдера необхідно припинити надходження газу в газгольдер (зупинити газодувки, закрити шибери, залити гідравлічні затвори водою), інтенсивно охолоджувати стінки і несучі конструкції газгольдера від перегрівання, за необхідності випустити залишок газу і продуту газгольдер інертним газом, а також вжити інших необхідних заходів, виходячи з характеру аварії. У випадку пожежі на сусідніх установках газгольдер захищають від дії полум'я і променевої теплоти, звільняють його об'єм від газу і вільний простір наповнюють паром чи негорючим газом.

Якщо газгольдер встановлено на відкритому просторі, то від вогню захищають і шар оливи на поверхні води в басейнах та затворах.

Необхідний постійний контроль за сигналізаційними пристроями, що показують справність роботи газгольдера (сигналізація про перекіс дзвона, мінімальну кількість газу, відсутність вакууму тощо), і автоматичними

пристроями, що припиняють подачу газу в газгольдер після його заповнення або припиняють витрату газу при зниженні дзвона до граничного нижнього положення. А також необхідно здійснювати постійний контроль за станом запірної, регулювальної і запобіжної арматури газгольдера або групи газгольдерів.

В процесі експлуатації газгольдерів необхідно стежити за герметичністю всіх частин газгольдерів (корпусу, дзвона, затворів тощо). Не допускати механічних пошкоджень і перекосів дзвона або його окремих ланок. Для запобігання перекосам регулярно спостерігають за рухом роликів по напрямних, змащують їх поверхню, рівномірно наповнюючи газгольдер, запобігають обледенінню стінок.

При виявленні в будівлі запаху газу слід негайно встановити причину і усунути її. Якщо не вдається швидко ліквідувати витік газу, необхідно припинити доступ його в газгольдер, а газ, що залишився, перекачати в інше сховище і вжити заходів до усунення причини, що спричинила витік газу.

Газгольдерний парк і окремо розташовані газгольдери повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. Щороку газгольдери необхідно випробовувати з зазначенням у паспорті.

### **Зберігання горючих газів в резервуарах**

На газових та нафтових промислах отримують вуглеводневі гази, які використовують як паливо або як сировину для ряду процесів нафтопереробки та нафтохімії. Крім цього, всі процеси деструктивної переробки нафтової сировини супроводжуються утворенням вуглеводневих газів. Їх вихід становить у середньому 5...20% мас. на сировину.

Скраплені вуглеводневі гази (СВГ) мають широке застосування у побуті та промисловості.

Резервуарні сховища горючих скраплених газів залежно від призначення поділяють на базові, промислові та побутові. Базові резервуарні сховища використовують для забезпечення ряду споживачів. Такі сховища розташовуються на газонаповнювальних станціях. Промислові – призначені для забезпечення різних підприємств (промислових, сільськогосподарських, комунальних, приватних). Побутові – для забезпечення житлових та громадських будинків.

Скраплені вуглеводневі гази зберігають у газових резервуарах. За формою газові резервуари бувають сферичні та циліндричні (рис. 7.12).



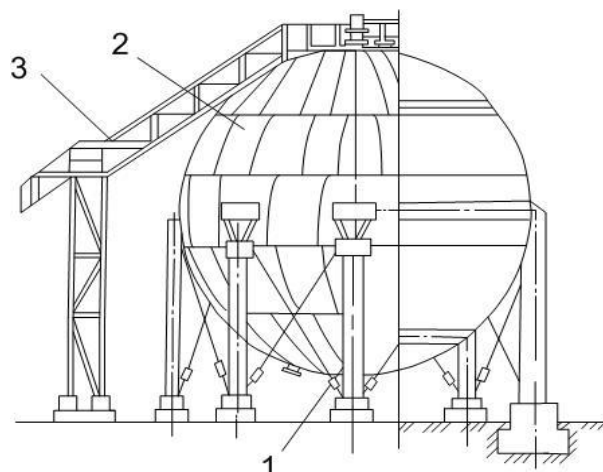
а



б

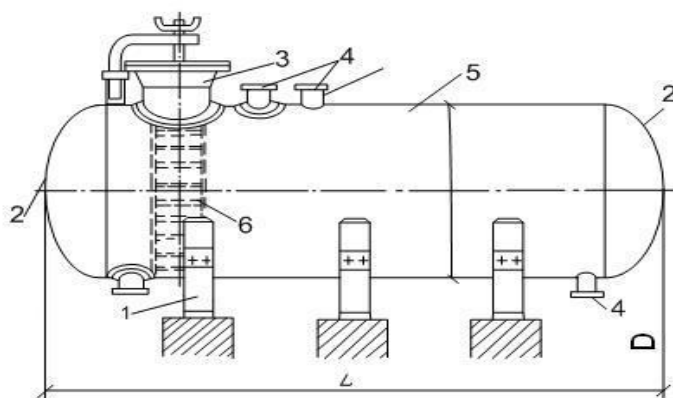
**Рисунок 7.12** – Зовнішній вигляд сферичного (а) та циліндричного (б) резервуарів для скраплених вуглеводневих газів.

Сферичні резервуари (рис. 7.13) встановлюють лише на поверхні землі.



**Рисунок 7.13** – Схема сферичного резервуара:  
1 – опори; 2 – сферичний корпус; 3 – сходи

Найбільш поширеними через простоту конструкції та експлуатації є циліндричні резервуари (рис. 7.14). Вони можуть бути ємністю від 25 до 200 м<sup>3</sup> з довжиною до 21 м.



**Рисунок 7.14** – Схема циліндричного наземного резервуара з сферичним днищем:  
1 – опори; 2 – сферичне днище; 3 – люк-лаз; 4 – штуцер; 5 – циліндричний корпус; 6 – сходи

Відносно поверхні ґрунту резервуарні сховища та резервуари можуть бути наземними або підземними. До підземних відносяться резервуари, у яких рівень рідини на 0,2 м нижчий від рівня прилеглого майданчика в межах 6 м від стінки резервуара. Підземні резервуари можуть бути заглибленими в ґрунт або обсыпаними ґрунтом з шириною обсыпки не менше 6 м.

Скраплені гази у резервуарах перебувають у двох фазах – рідкій та газоподібній. Їх співвідношення при нормальних умовах визначається коефіцієнтом заповнення, який повинен бути не більше 0,85.

Частіше за все вони зберігаються при температурі доквілля під тиском насиченої пари. Для температури +20°C цей тиск становить для пропану 8 атм (0,8 МПа); для бутану – 3 атм (0,3 МПа). З підвищенням температури тиск у резервуарах різко підвищується.

Для споживання використовують пропан-бутанові суміші, які можуть бути літніми – з більшим вмістом бутану, або зимовими – з більшим вмістом пропану.

### **Пожежна безпека резервуарів для скраплених газів**

Для запобігання вибуху при наповненні стисненими газами резервуари чи підземні сховища продувають інертними газами – азотом або вуглекислим газом, якщо склади розташовані безпосередньо біля підприємств; димовими газами зі спеціальних установок, якщо склади розташовані на відстані від них. Продувні свічі, що встановлюють на резервуарах, мають висоту не менше 3 м, для підземних резервуарів від поверхні насипу, а для наземних – від майданчика обслуговування. При розташуванні резервуара ближче 30 м від будівлі свічі виводять на 2 м вище гребеня даху цієї будівлі.

До основних заходів на складах скраплених вуглеводневих газів відносять запобігання і своєчасне усунення витоків газу, а у приміщеннях, де ці витoki не можливо усунути (компресорні, насосні) – організують природну і примусову вентиляцію.

Для запобігання пошкодженням резервуарів при коливаннях температур навколишнього середовища залишають вільний об'єм після наповнення рідкою фазою не менше 10...16,5 % геометричного об'єму. Надземні резервуари для захисту від сонячної радіації фарбують у білий (сріблястий) колір, а залізничні цистерни і деякі резервуари обладнують екранами з 2-міліметрової сталі. Заповнювати резервуар можна лише тими газами, для яких вони призначені.

Для забезпечення резервуарів СВГ їх обладнують приладами автоматичного контролю рівня, витрати, температури і тиску, а також запірною і запобіжною арматурою.

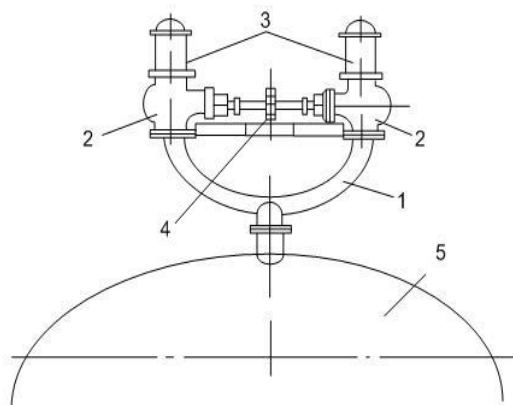
Захист резервуарів СВГ, що працюють під тиском, і ізотермічних сховищ від переповнення забезпечують влаштуванням рівнемірів і сигналізаторів верхнього граничного рівня заповнення, що виключає переповнення. Крім арматури, що встановлена безпосередньо біля штуцерів резервуара, на трубопроводах зливу і наливу використовують арматуру з дистанційним управлінням на відключення як одного резервуара, так і групи резервуарів. Цю арматуру розташовують поза обвалуванням на відстані не менше 10 м від резервуарів.

Поверхню надземних резервуарів і трубопроводів газової обв'язки захищають теплоізоляцією, яка затримує їх прогрівання на пожежах. Границя вогнестійкості опор резервуарів – не менше 2 год. На зберігання подають газ, осушені від води і очищені від сірководню.

Для захисту резервуарів від підвищених тисків служать запобіжні клапани – на кожному резервуарі влаштовують не менше двох запобіжних клапанів, які з'єднують безпосередньо з паровим простором (рис. 7.15). Резервуари обладнують також регуляторами для автоматичного скиду надлишкового тиску чи системи ручного викиду газу. Викид від запобіжного клапана, ліній викиду газу і продування резервуарів здійснюють на свічу чи у загальнозаводську факельну лінію. Свічі мають висоту не менше 30 м, їх розташовують зовні обвалування на відстані не менше 5 м від нього з



підвітряної сторони по відношенню до інших споруд складу на максимально можливій відстані від них. Скид газу здійснюють через сепаратор, що призначений для відокремлення рідкого газу, віднесеного парами. Водний шар, що нагромаджується в резервуарах, зливають через випарник в лінію хімічно забруднених стоків.



**Рисунок 7.15** – Захисне блокування запобіжних клапанів:

1 – трійник; 2 – вентилі; 3 – запобіжні клапани; 4 – гвинт з маховиком; 5 – резервуар

Захист резервуарів від деформації при утворенні вакууму зводиться до перевірки стійкості корпусу при повному вакуумі (на стадії проектування), обладнання його вакуумними клапанами при зберіганні СВГ з високими температурами кипіння і до обігріву таких резервуарів у зимовий час.

Для захисту від гідравлічних ударів на нагнітальних трубопроводах компресорів і насосів встановлюють зворотні клапани. Парофазові лінії резервуарів обладнують конденсатозбірниками для уникнення потрапляння конденсату в циліндри компресора.

Запобігання виникненню джерел запалювання досягається заземленням резервуарів і трубопроводів, блискавкозахистом складів, застосуванням іскробезпечного інструменту при ремонтних роботах, повільним окисненням сульфідів заліза при очистці резервуарів, охолодженням підшипників і сальників насосів і компресорів, дотриманням правил пожежної безпеки. Проведення вогневих робіт, проїзд автомашин і тракторів ближче 100 м від місця зливу-наливу СВГ не дозволяється. Працівники, які обслуговують резервуари, повинні мати взуття на гумовій підшві без цвяхів. Переносні електролампи для освітлення цистерн повинні бути вибухозахищеними, напруга для них не більше 12 В.

Захист від поширення пожежі, що виникла, скерований на обмеження (встановлення максимально допустимої) кількості СВГ на складах, дотримання встановлених протипожежних відстаней, обладнання витратних трубопроводів швидкісними клапанами – переривачами потоку, влаштування обвалувань, встановлення вогнеперешкоджувачів на свічах (факелах), застосування гідрозатворів на газових лініях і лініях промислової каналізації.

На стадії проєктування передбачають зонування складів СВГ, яке дає можливість винести на окремі ділянки схожі за своїм функціональним призначенням промислові майданчики, виробничі приміщення, що робить їх більш зручним для обслуговування і підвищує вибухо- і пожежобезпеку, оскільки створюється можливість здійснення протипожежного захисту таких зон однотипними стаціонарними установками, зони розташувати на безпечних відстанях одна від одної, створювати сприятливі умови для планування профілактичних заходів. Склади СВГ мають негорючу ґратчасту огорожу. Максимальна місткість складу скрапленого газу – 8000 м<sup>3</sup>. Надземні резервуари розташовують групами в районі понижених планувальних позначок. Кожна з груп має замкнуте обвалування чи обгороджувальну стінку з негорючих матеріалів висотою не менше 1 м, яка розрахована на 85% місткості групи резервуарів. Ширину земляного валу у верхній частині приймають не менше 0,5 м. Відстань від обвалування чи огороджувальної стінки до резервуарів повинна дорівнювати половині діаметра найближчого резервуара, але бути не менше 1 м. Найбільший ефект дає обвалування типу каре: розтікання рідини у цьому випадку обмежується місткістю одного резервуара.

Витратні місткості складу скраплених газів обладнують аварійним зливом, об'єм аварійного резервуара приймають рівним об'єму найбільшого надземного резервуара.

Відстань між сусідніми складами СВГ приймають не менше 500 м. Відстані від надземних резервуарів до будівель і споруд, що не відносяться до складу, залежать від місткості складу і знаходяться в межах 100...500 м (50...200 м – від підземних). До будівель і споруд, які розраховані на одночасне перебування більше 800 осіб, вказані відстані подвоюються.

Місткість проміжних складів СВГ, які розташовані на території промислових підприємств, не перевищує 2000 м<sup>3</sup>, а максимальний об'єм резервуарів – 100 м<sup>3</sup>.

Максимальний об'єм надземного резервуара РУСГ 5 м<sup>3</sup>, а підземного – 10 м<sup>3</sup>. Ці резервуари на об'єктах промисловості і сільського господарства виконують як правило надземними, а у дворах житлових будинків і громадських будівель – підземними. Надземні резервуари встановлюють з розривом не менше 2 м, а підземні – 1 м. Відстані від РУСГ до сусідніх будівель приймають залежно від місткості установки і ступеня вогнестійкості будівлі: 25...50 м – до громадських будівель; 8...25 м – до житлових будинків і будівель промислових підприємств, на яких вони розташовані. Резервуарні установки обносять огорожею висотою 1,2 м, на відстані 1 м від резервуарів.

Для запобігання загазованості дворів при зливі скраплених газів з автоцистерн не здійснюється примусовий викид газу з резервуарів в атмосферу. Доцільно обладнувати автоцистерни компресорами з двигунами у вибухозахищеному виконанні.

При виникненні пожежі на складі СВГ вживають заходів для зрошення резервуара, що горить, (особливо парового простору) і сусідніх резервуарів, а також для обмеження надходження газу у вогнище пожежі (обмеження площі розливу, перекирвання засувок, аварійний злив тощо), тобто забезпечують

контрольоване горіння газу. Для охолодження кулястих і горизонтальних надземних резервуарів СВГ передбачають стаціонарні системи (кільця) водяного зрошення з їх ручним управлінням.

В процесі експлуатації резервуарів-сховищ, цистерн слід контролювати стан стінок місткостей запірних, запобіжних і вимірювальних пристроїв, теплоізоляції або захисного забарвлення (білий колір). У разі виявлення неполадок негайно усунути їх.

Забороняється експлуатувати резервуари, цистерни з несправними відвідними трубами, від'єднаними запобіжними клапанами.

У сховищах ізотермічного типу і сховищах з обігрівом в зимовий час необхідно контролювати температуру скрапленого газу, яка не повинна перевищувати встановлену інструкцією. Температура скрапленого газу не повинна бути вищою за температуру, при якій тиск насиченої пари продукту перевищує допустимий тиск резервуара.

Взимку слід систематично спускати воду, що збирається в резервуарах із скрапленим вуглеводневим або іншим нетоксичним газом. Під час зливу води не можна допускати виходу назовні скрапленого газу.

Необхідно стежити за станом огорожень резервуара або цистерн із скрапленими газами, не допускати пошкоджень обвалування або стінок, своєчасно усувати пошкодження, влаштовувати переходи через огороження.

Майданчики, на яких розміщені резервуари і посудини із скрапленими газами, повинні бути сплановані, не мати ям і місць, що погано продуваються, в яких може нагромаджуватися газ важчий за повітря.

Число цистерн на естакаді під зливом або наливанням не повинне перевищувати встановлену інструкцією. Злив-налив дозволяється здійснювати тільки в справні резервуари-цистерни, що мають заземлення, забезпечені покажчиками рівня, сигналізаторами граничного рівня, манометрами, запобіжними клапанами, термометрами і іншими запобіжними пристроями. Забороняється наповнювати скрапленим газом резервуари, цистерни, балони, якщо закінчився термін їх огляду, немає клейма, вони не відповідно забарвлені.

Забороняється заповнювати місткості скрапленим газами "падаючим струменем". Наливання повинно здійснюватися під рівень (шар) рідини, наявної в резервуарі, цистерні. Резервуари, цистерни слід заповнювати скрапленими газами до гранично допустимого для них рівня, який повинен бути вказаний в цеховій інструкції. Пристрої для контролю за рівнем скрапленого газу в посудинах повинні бути справними. При несправності рівнемірів місцевої і дистанційної дії експлуатувати місткості не дозволяється. Забороняється здійснювати зливоналивні операції скраплених газів під час грозових розрядів.

При прориві газів з резервуарів, цистерн, трубопроводів, що підводять або відводять скраплені гази, необхідно негайно відключати їх, дотримуючи порядок, передбачений інструкцією.

Щоб уникнути проникнення повітря всередину посудини (цистерни, резервуара) і утворення вибухонебезпечної газоповітряної суміші після зливу в місткості повинен бути надлишковий тиск не менше 50 кПа (0,5 кгс/см<sup>2</sup>).

Щоб уникнути виходу скрапленого газу назовні при пошкодженні наповнювальних ліній необхідно стежити за наявністю і справністю встановлених на них зворотних клапанів.

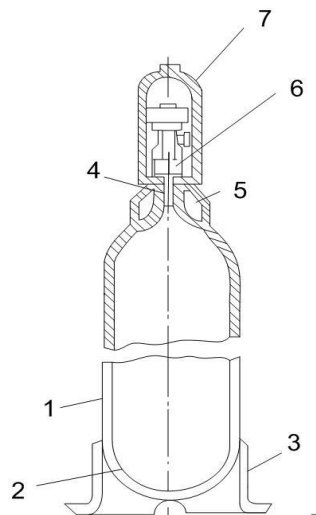
Склади скраплених газів повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до встановлених норм. Стан наявних стаціонарних систем охолодження резервуарів і гасіння пожеж необхідно систематично перевіряти.

### Зберігання горючих газів в балонах

Балони для зберігання горючих газів широко використовуються на промислових підприємствах, транспорті й у побуті. На виробництві і в будівельній сфері при зварювальних і газорізальних роботах застосовують балони з пропаном, ацетиленом, киснем. У лікарнях для надання медичної допомоги використовують кисень. У побуті користуються газовими балонами з пропаном для газових плит.

Балон – посудина, яка призначена для перевезення, зберігання і використання стиснених, скраплених або розчинених під тиском газів.

Корпус балона (1) (рис. 7.16) виготовляють з безшовних труб, на нижню частину корпусу – днище (2) в гарячому стані насаджується башмак (3), що надає балону стійкість у вертикальному положенні. У верхню сферичну частину горловини вгвинчують вентиль (6), який призначений для наповнення і відбору газу. В неробочому положенні вентиль є запірним пристроєм. На зовнішню частину горловини (4) напресовується різьове кільце (5) для нагвинчення запобіжного ковпака (7). Ковпак захищає вентиль від пошкоджень і забруднення.



**Рисунок 7.16** – Схема балона:

1 – корпус; 2 – днище; 3 – башмак; 4 – горловина; 5 – кільце (обойма); 6 – вентиль; 7 – ковпак

Асортимент балонів за місткістю, тиском і геометричними параметрами охоплює більше 500 типорозмірів (рис. 7.17). Зокрема, малолітражні балони випускаються ємністю від 0,4 до 12 л і розраховані на тиск 10, 15, 20 МПа,

середньолітражні ємністю від 20 до 55 л і розраховані на аналогічний тиск, великолітражні балони випускаються ємністю від 80 до 500 л і розраховані на тиск 10, 15, 20, 32, 40 МПа. Балони виготовляють із вуглецевої і легованої сталі. Товщина стінок балона до 4 мм.



**Рисунок 7.17** – Загальний вигляд балонів для зберігання газів

Найбільш розповсюджені балони ємністю 40 л. Оскільки газ знаходиться під високим тиском, кількість його у стільки разів перевищує об'єм балона, у скільки тиск більший за атмосферний. Наприклад, при тиску 15 МПа в балоні ємністю 40 л міститься  $6 \text{ м}^3$  газу.

При визначенні допустимої кількості балонів, що зберігаються в будівлі складу чи у відсіку, перерахунок здійснюється на 40-літрові балони.

Залежно від робочого тиску газові балони поділяють на три групи: низького тиску (до 2 МПа), середнього тиску (від 2 МПа до 6,5 МПа), високого тиску (понад 6,5 МПа).

Максимально допустима кількість газу в балоні, виражена в кілограмах на один літр об'єму, називається щільністю наповнення.

В балонах газ може зберігатися у газоподібному, скрапленому чи розчиненому станах.

В газоподібному стані гази зберігають під різним тиском. Стиснені гази, які мають дуже низькі критичні температури скраплення (азот, водень, кисень, метан, оксид вуглецю (CO)) зберігають під тиском 15 МПа. Для їх зберігання використовують стандартні транспортні товстостінні балони ємністю 40 л (знаходиться  $6 \text{ м}^3$  газу).

У скрапленому стані зберігають гази з високою критичною температурою скраплення. Скраплений газ зберігається під тиском насиченої пари, якій відповідає температура довкілля. Величина тиску залежить від виду газу: вуглекислий газ зберігають під тиском 12,5 МПа, аміак і хлор – 30 МПа; пропан, пропілен – 1,65 МПа; бутан – 0,8 МПа; бутилен – 0,65 МПа; природний скраплений газ – 1,6 МПа. Залежно від тиску використовують різні балони: для аміаку, вуглекислого газу та хлору – товстостінні транспортні балони на 40 л, для пропан-бутанових сумішей – тонкостінні балони на 27 або 50 л.

У розчиненому стані зберігають ацетилен. Він знаходиться в балонах під тиском 1,6 МПа. Балони для ацетилену наповнюють пористим наповнювачем і

заливають ацетоном. Як пористий наповнювач використовують активоване вугілля або литу пористу масу. В процесі наповнення балона газом відбувається його розчинення в ацетоні у співвідношенні 1:23, тобто в 1 л ацетону розчиняється 23 л ацетилену.

Розчинений в ацетоні ацетилен менш небезпечний, ніж газоподібний – до тиску 1 МПа цей розчин не вибухає, тоді як ацетилен при тиску більше 0,2 МПа розкладається з вибухом від дії механічних ударів чи тепла. Якщо ж розчин ацетилену в ацетоні розподілити в середовищі пористої речовини, наприклад вугілля, то ацетилен до тиску 3 МПа не вибухатиме, хоча в окремій порі вугілля під впливом удару чи високої температури може виникнути вогнище розкладу. Це відбувається тому, що ацетилен розподіляється в порах вугілля, які ізольовані одна від одної. Вугілля поглинає тепло, яке утворюється при розкладанні ацетилену в окремих порах, і у такий спосіб перешкоджає поширенню розкладання у всьому об'ємі ацетилену. Таким чином, пористий наповнювач сприяє рівномірному розподілу розчинника в балоні і захищає ацетиленовий балон від зворотного удару полум'я чи можливого вибухового розкладу ацетилену.

Балони наповнені газами мають велику небезпеку – при певних умовах вони можуть вибухати. Вибух як хімічне явище відбувається у випадку, коли всередині балона утворюється вибухонебезпечна концентрація горючого газу з окисником. Це можливе при заповненні балона, що використовувався для горючих газів, киснем або повітрям чи навпаки, а також у випадку, якщо всередину кисневого балона чи на вентилі потрапляє масло.

Однак, частіше спостерігаються вибухи балонів як фізичне явище. Причиною таких вибухів є зростання тиску до величини, коли корпус балона руйнується. Найчастіше це відбувається на пожежі, при нагріванні балонів опалювальними приладами, джерелами відкритого вогню.

Збільшення тиску газів з підвищенням температури можна визначити за рівнянням Гей-Люссака:

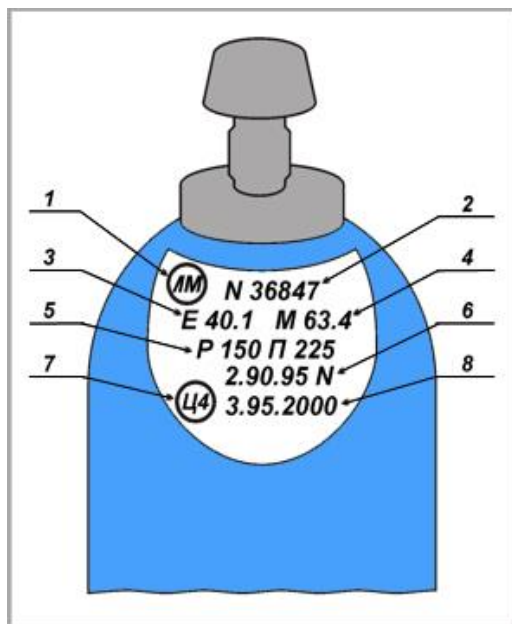
$$P_t = \frac{P_o \cdot T_t}{T_o},$$

де  $P_o$ ,  $P_t$  – початковий тиск газу і тиск газу при кінцевій температурі, МПа;  $T_o$ ,  $T_t$  – початкова і кінцева температура газу, К.

Особливо небезпечним є підвищення температури для балонів зі скрапленими вуглеводневими газами. Так при критичних температурах (близько 200°C) увесь скраплений газ переходить у газоподібний стан – тиск газу різко зростає. Ще більш небезпечним є нагрівання ацетиленових балонів. При температурі 100°C розчинність ацетилену в ацетоні наближається до нуля, весь ацетилен десорбує з ацетону, в результаті чого тиск в балоні зростає до 20 МПа.

Таким чином, балони зі стисненими газами вибухають при температурах 300...500°C, зі скрапленими – при температурах 200...300°C і при 100°C з розчиненими газами.

На корпус балона нанесене маркування, що містить відомості про балон (маса корпусу, дата виробництва, дата атестації тощо). На рис. 7.18 наведено найбільш типовий приклад маркування балона.



**Рисунок 7.18** – Маркування кисневих, ацетиленових, азотних, аргонних і вуглекислотних балонів:

1 – для ацетиленових балонів. Символи „ЛМ” чи „ПМ” – тип наповнювача балонів (ЛМ – лита маса, ПМ – пориста маса);

2 – заводський номер балона;

3 – фактична місткість газового балона при виготовленні в літрах (по воді). При перевищенні мірної місткості балона над заводською більш ніж на 1,5%, балон до подальшої експлуатації не допускається (порушення геометрії корпусу, ризик утворення мікротріщин);

4 – фактична маса корпусу балона при виготовленні. При зменшенні маси корпусу порівняно з номінальною більш ніж на 7,5% балон до подальшої експлуатації не допускається (винос маси, корозія і потоншення стінок);

5 – робочий („Р”) і перевірочний („П”) тиск балона в атмосферах;

6 – дата виготовлення і подальшої переатестації в форматі „ММ.РР.АААА”, де „ММ” – номер місяця виготовлення, „РР” – дві останні цифри року виготовлення, „АААА” – рік подальшої переатестації. Буква „N” – клеймо заводу, яке свідчить про те, що запис відноситься до відомостей про виготовлення балона;

7 – літерно-цифровий шифр, обведений в круг – клеймо заводу чи лабораторії, де проводилась переатестація;

8 – відомості про подальшу переатестацію балона в форматі „ММ.РР.АААА”, де „ММ” – номер місяця переатестації, „РР” – дві останні цифри року переатестації, „АААА” – рік подальшої переатестації. Якщо балон переатестовували декілька раз, то написи про них розташовують одна під одною.

Напис на наведеному рисунку слід читати так: балон №36847 виготовлений в лютому 1990 року. Маса корпусу 63,4 кг, місткість 40,1 літри. Проведено гідравлічне випробування корпусу на 225 атм, дозволений номінальний (робочий) тиск 150 атм. В березні 1995 року балон пройшов чергову переатестацію на дільниці „Ц4”, дата наступної переатестації – березень 2000 року.

### Пожежна безпека балонів з газами

Балони для газів повинні проходити періодичне випробування під тиском у півтора раза більшим за робочий ( $P_{\text{випр.}} = 1,5 P_{\text{роб.}}$ ). Терміни випробування залежать від виду газу і проводяться для агресивних газів (сірководень, хлор) – раз на 2 роки; для інших – раз на 5 років.

Відповідно до «Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працюють під тиском» (НПАОП 0.00-1.81-18), балони повинні мати відповідне забарвлення залежно від виду газу (табл. 7.2). Щоб відрізнити один від іншого однорідні гази, застосовуються відмітні смуги. Наприклад, всі балони, у яких зберігається фреон, фарбують алюмінієвою фарбою, але залежно від виду фреону на них наносять смуги різного кольору. Знання кольорів забарвлення балонів необхідне не тільки для розробки пожежно-профілактичних заходів, а і для прийняття правильних рішень при гасінні пожеж.

**Таблиця 7.2**

Забарвлення і нанесення написів на балони

Назва газу	Колір балонів	Текст напису	Колір напису	Колір смуги
Азот	Чорний	Азот	Жовтий	Коричневий
Аміак	Жовтий	Аміак	Чорний	–
Ацетилен	Білий	Ацетилен	Червоний	–
Бутилен	Червоний	Бутилен	Жовтий	Чорний
Бутан	Червоний	Бутан	Білий	–
Водень	Темно-зелений	Водень	Червоний	–
Повітря	Чорний	Стиснуте повітря	Білий	–
Кисень	Голубий	Кисень	Чорний	–
Сірководень	Білий	Сірководень	Червоний	Червоний
Хлор	Захисний	–	–	Зелений
Етилен	Фіолетовий	Етилен	Червоний	–

Коефіцієнт заповнення балонів скраплених газів повинен бути не більше як 0,85. Під час зберігання, транспортування балонів з киснем не можна допускати потрапляння в них масла та дотикання арматури з промасленими матеріалами. При транспортуванні балонів з киснем забороняється братись за вентилі.



На склад слід приймати балони з газами, у яких ще не закінчився термін періодичного огляду. Балони з отруйними газами повинні зберігатися в спеціальних закритих приміщеннях. Балони з іншими газами дозволяється зберігати як в спеціальних приміщеннях, так і на відкритих майданчиках, захищених від дії опадів і сонячних променів.

Не допускається зберігати балони з несправними вентилями, пошкодженим корпусом (з тріщинами, вм'ятинами, сильною корозією). При завантаженні, розвантаженні і зберіганні не можна допускати ударів балонів один об одного, падіння ковпаків і балонів на підлогу.

У складах балонів з газами не дозволяється зберігати інші речовини, матеріали і предмети (ЛЗР, ГР, кислоти, ганчір'я тощо).

На відстані 5м від складу для зберігання балонів з горючими газами забороняється зберігати будь-які горючі матеріали (тверді і рідкі), проводити роботи із застосуванням відкритого вогню.

Склади для зберігання балонів з газами повинні бути одноповерховими, І чи II ступеня вогнестійкості, з легкоскидними покриттями. Вікна і двері складів повинні відкриватись назовні, підлоги повинні бути виконані з неіскроутворюючих матеріалів. Максимальний загальний вміст складу – 3000 балонів (у перерахунку на 40-літрові). Склад розділяють протипожежними перегородками на відсіки місткістю не більше 500 балонів з горючими або отруйними газами і не більше 1000 балонів з негорючими та неотруйними.

Для оберігання балонів від прямої дії сонячних променів шиби вікон і дверей складу повинні бути матовими або пофарбованими білою фарбою.

Склади для зберігання балонів з газами повинні мати постійно працюючу примусову вентиляцію, що підтримує безпечні концентрації газів. Використовувати склади з непрацюючою вентиляцією не дозволяється.

Балони оснащують башмаками і зберігають у вертикальному положенні в спеціальних гніздах, клітках чи огорожують бар'єром. Окремо розташовані балони закріплюють ланцюгами чи хомутами. Балони, що не мають башмаків, зберігають в горизонтальному положенні на дерев'яних рамах чи стелажах. При укладанні в штабелі їх висота не повинна перевищувати 1,5 м, всі вентиляції закриті запобіжними ковпаками і повернуті в одну сторону. Наповнені балони зберігають окремо від порожніх.

Балони з горючими газами (воднем, ацетиленом, пропаном, етиленом тощо) зберігають окремо від балонів з киснем, хлором, фтором, стисненим повітрям і іншими окисниками, а також окремо від токсичних газів. Як правило, кисень і горючі гази зберігають в ізольованих один від одного приміщеннях, а хлор – в спеціальних складських приміщеннях. Сірководень зберігають на відкритому повітрі під навісом.

При виявленні балонів з горючим газами, що мають витікання, їх негайно вилучають з складу.

Балони транспортують автомобільним, залізничним, повітряним, водним транспортом, а також електрокарами і візками. Під час перевезення на їх вентиляції встановлюють захисні ковпаки. На автомобілях балони вкладають ковпаками в одну сторону. Для запобігання ударам при перевезенні балони

розташовують на дерев'яних підкладках, оббитих повстю, або одягають на кожен балон два мотузкових чи гумових кільця товщиною 0,025 м.

Підлогу складів для горючих газів виконують з негорючих матеріалів, що виключають іскроутворення при падінні балонів. На склади не допускають осіб, у взутті, підбитому металічними цвяхами чи підківками.

Освітлення складів балонів з горючими газами має бути електричним у вибухозахищеному виконанні. Доцільно влаштовувати зовнішнє освітлення через засклені вікна з допомогою ламп з відбивачами. Опалення складів водяне, парове низького тиску чи повітряне. Необхідно стежити, щоб відстань від балонів до радіаторів системи опалення була не менше 1 м. Температура в складах балонів горючих газів не перевищує 35 °С в околі 10 м навколо складу балонів не дозволяється зберігати горючі матеріали і проводити вогневі роботи.

В умовах пожежі балони необхідно своєчасно вилучати з небезпечної зони, а якщо це неможливо, то інтенсивно охолоджувати водою, здійснюючи одночасно гасіння балонів, що горять, і конструкцій. Якщо балони охоплені вогнем, то їх охолоджують водою, яку подають з-за укриття. Підходять до балонів на пожежі збоку, а не з торців.

## **7.2. Пожежна безпека процесів зберігання легкозаймистих і горючих рідин**

Легкозаймисті та горючі рідини зберігають в резервуарах і у тарі (бочках, каністрах, флягах, бідонах, спеціальних контейнерах тощо).

### **Зберігання ЛЗР і ГР в резервуарах**

**Резервуар** (з лат. *reservare* – зберігати) – споруда призначена для приймання, зберігання, видачі, обліку (кількісного і якісного) легкозаймистих та горючих рідин, а також для відстоювання води і механічних домішок.

Резервуари виготовляють із сталі методом зварювання – сталеві резервуари, з спеціальних марок бетону з відповідною гідроізоляцією – залізобетонні. Сталеві резервуари найбільш поширені і залежно від форми поділяються на: циліндричні, каплеподібні, кулясті (сферичні), прямокутні. Циліндричні резервуари в свою чергу виготовляють горизонтальними (мають циліндричний горизонтальний корпус та напівсферичні або плоскі з підсилюючими ребрами боковини) та вертикальними (мають вертикальні циліндричні стінки та плоскі днища і покрівлю).

Залежно від рівня ґрунту резервуари поділяють на наземні – у яких рівень рідини вище прилеглого майданчика та підземні – заглиблені у ґрунт або обсіпані ґрунтом. Підземними вважають такі резервуари, у яких найвищий рівень рідини в резервуарі або рівень рідини, що розлилась в будівлі або споруді, нижчий не менше ніж на 0,2 м найнижчої планувальної позначки прилеглого майданчика на відстані в межах 3-х м від краю сховища. В обсіпаних ґрунтом резервуарах, як впливає з визначення, ширина обсіпки по верху повинна бути не менше 3-х м.

На відміну від наземних сховищ підземні виключають можливість розливання ЛЗР чи ГР через руйнування стінок від вибуху або температурних напружень, випаровування легких фракцій у них нижче у порівнянні з підземними. При пожежах вони мають значно менший рівень теплового випромінювання, не потребують проведення охолодження і тому організація їх пожежогасіння значно простіша. В той же час будівництво таких сховищ більш складніше і дорожче. З цієї причини вони використовуються дуже рідко.

Залежно від об'єму продукту, що зберігається, резервуари поділяють на чотири класи небезпеки: клас I – резервуари об'ємом більше 50 000 м<sup>3</sup>; клас II – резервуари об'ємом від 20 000 м<sup>3</sup> до 50 000 м<sup>3</sup> включно, а також резервуари об'ємом від 10 000 м<sup>3</sup> до 50 000 м<sup>3</sup> включно, які розташовуються безпосередньо на берегах рік, великих водойм та в межах міської забудови; клас III – резервуари об'ємом від 1 000 м<sup>3</sup> та менше 20 000 м<sup>3</sup>; клас IV – резервуари об'ємом менше 1 000 м<sup>3</sup>.

За конструктивними особливостями сталеві вертикальні резервуари виготовляють: з плаваючим покриттям (позначення – РВСПП); з стаціонарним покриттям та понтоном (РВСП), з стаціонарним покриттям без понтона (РВС), з захисною стінкою ((РВС; РВСП; РВСПП) – ЗС). Вибирають тип резервуара залежно від температури спалаху і тиску насичених парів ЛЗР та ГР, зокрема, легкозаймисті рідини з тиском насичених парів від 26,6 кпи до 93,3 кпи зберігають у резервуарах з плаваючою покрівлею або понтоном та у резервуарах з стаціонарною покрівлею, які обладнані газовою обв'язкою або установкою уловлювання легких фракцій. Легкозаймисті рідини з тиском насичених парів менше 26,6 кпи зберігають у резервуарах зі стаціонарною покрівлею без газової обв'язки.

Резервуари з плаваючим покриттям (рис. 7.19) проектують для умов зберігання нафти і нафтопродуктів з температурою не вище 40 °С. Їх споруджують в основному в південних районах України.

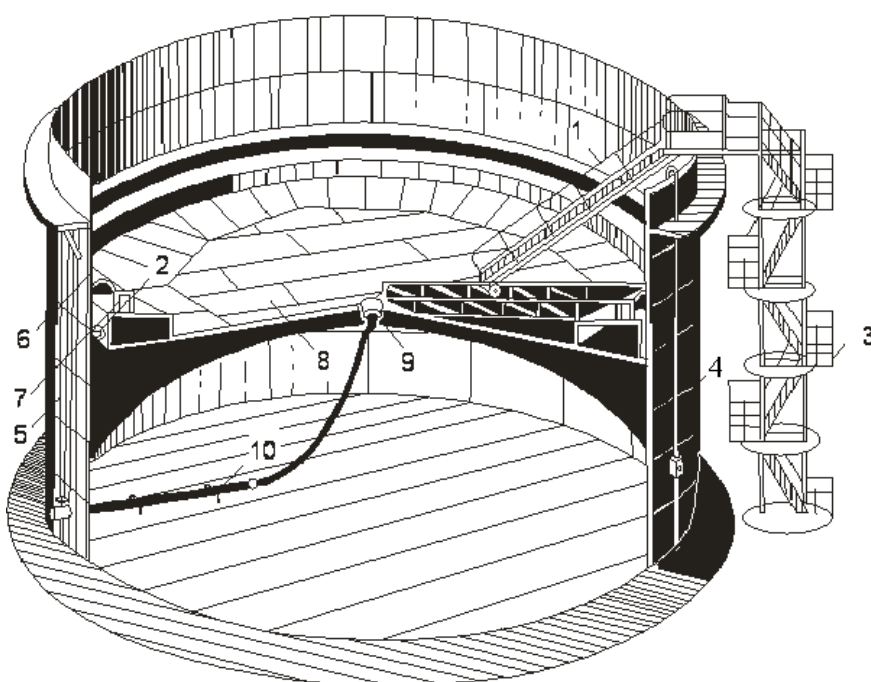


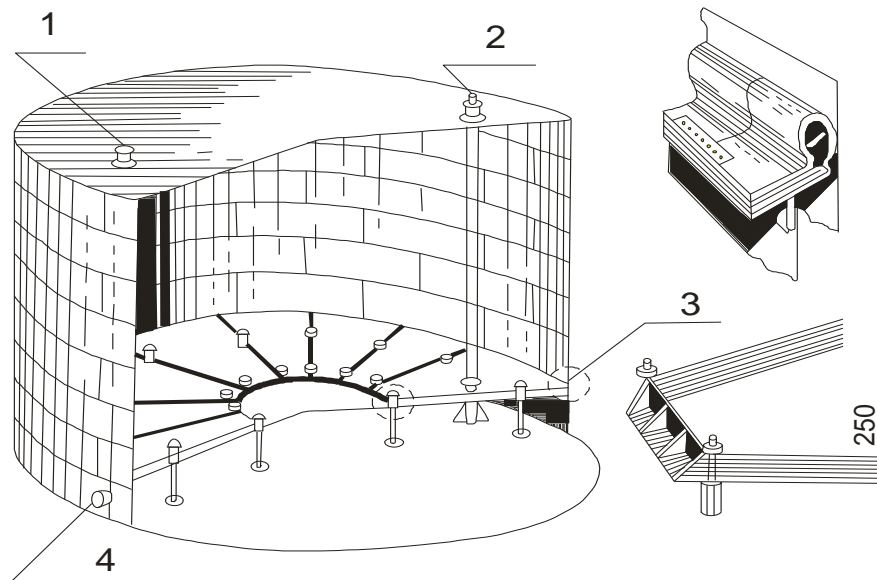
Рисунок 7.19 – Розріз резервуара з плаваючим покриттям (тип РВСПП):

- 1 – пересувна драбина;
- 2 – мембрана; 3 – зовнішня драбина; 4 – мірник;
- 5 – корпус резервуара;
- 6 – захисний козирок;
- 7 – кронштейн козирка;
- 8 – плаваюче покриття;
- 9, 10 – дренажний пристрій для стікання води

Всередині резервуара розташовано металевий дах, який плаває на поверхні рідини. Призначення такого плаваючого покриття – зменшення втрат легкозаймистих та горючих рідин при зберіганні. Нижнє положення плаваючого даху фіксується кронштейнами на висоті 1,8 м від дна резервуара. Відвід дощової води з резервуара в дренажну систему проводиться з допомогою шарнірної труби, яка фіксується в нижній частині. Між плаваючою покрівлею і стінкою резервуара повинна бути щілина 200 мм з допустимими відхиленнями 100 мм.

На плаваючому покритті у резервуарах з об'ємом більше 5000 м<sup>3</sup> необхідно обладнувати кільцевий бар'єр для утримання піноутворювальних засобів пожежогасіння.

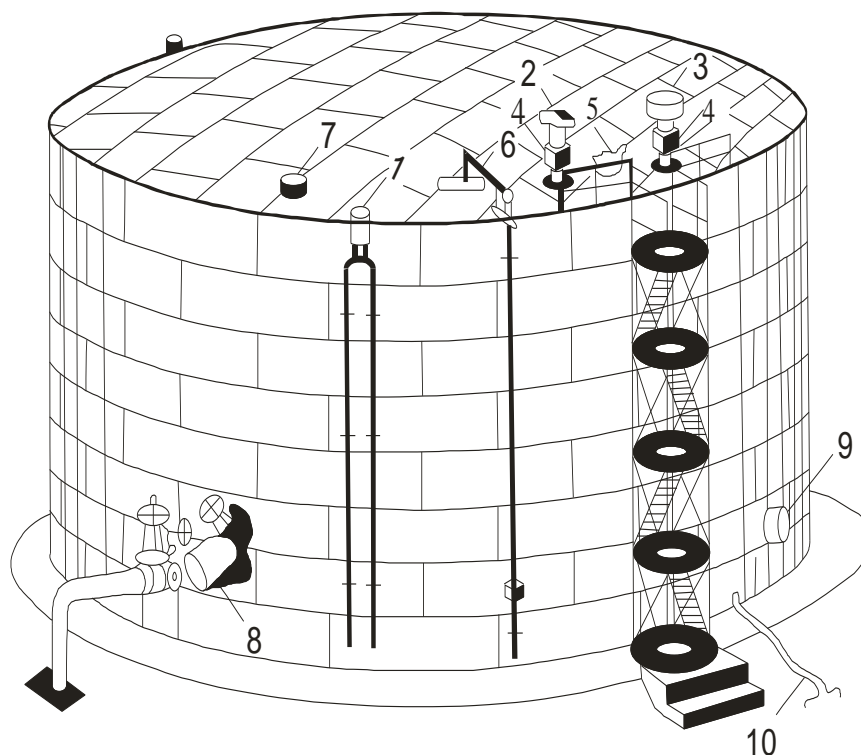
На підприємствах нафтопродуктів розповсюджені також і резервуари з понтонами (рис. 7.20). Вони утворюють конструкцію з дном із листового металу і підсилюючими ребрами.



**Рисунок 7.20** – Розріз резервуара з понтоном (тип РВСП):

1 – труба для замірювання рівня рідини; 2 – пробовідбірник; 3 – затвор; 4 – люк-лаз

Понтони як і плаваючі покриття призначені для зменшення втрат легкозаймистих та горючих рідин при зберіганні. Понтони бувають металеві та синтетичні. Синтетичний понтон повинен мати високу плавучість, механічну міцність, довговічність. Понтони з синтетичних матеріалів виготовляють з негорючих струмопровідних матеріалів або обладнують пристроями для знімання статичної електрики. В нижньому положенні понтон опирається на трубчасті стійки. Зазор між понтоном і стінкою резервуара шириною 200 мм перекривається затвором-ущільнювачем, який має нормований коефіцієнт герметичності. Ущільнювачі (затвори) бувають жорсткого (механічного) типу і м'якого (питльованого, з наповненням).



**Рисунок 7.21** – Загальний вигляд наземного резервуара (тип РВС):

- 1 – піногенераторна камера; 2 – дихальний клапан; 3 – запобіжний клапан;  
 4 – вогнеперешкоджувач; 5 – люк для вимірювання; 6 – пристрій для вимірювання рівня нафтопродукту; 7 – світловий люк; 8 – хлопушка; 9 – люк-лаз; 10 – заземлення

Наповнення та спорожнення резервуарів здійснюється з допомогою пристроїв приймання-роздачі, що мають місцеве або дистанційне керування. Кількість таких пристроїв визначають залежно від максимальної продуктивності заповнення і спорожнення. Пристрій приймання-роздачі повинен обладнуватись надійним запірним органом (хлопушка, підйомна труба). Пристрій з хлопушкою, яка має бокове керування, обладнується запасним тросом. Швидкість руху потоку рідини не більша за 2,5 м/с, при заповненні порожнього резервуара – не більша за 1 м/с до моменту заповнення кінця патрубку приймання-роздачі.

Резервуари для легкозаймистих та горючих рідин оснащуються дихальною і запобіжною арматурою. Вибір дихальної арматури залежить від типу резервуара і рідини, яка в ньому зберігається. Зокрема, на резервуарах типу РВСПІ, РВСІІ розташовують вентиляційний патрубок з вогнеперешкоджувачем; на резервуарах типу РВС для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів до 93,3 кПа і з тиском у газовому просторі 2 кПа – дихальний і запобіжний клапан з вогнеперешкоджувачем; на резервуарах з РВС при атмосферному тиску у газовому просторі для зберігання масел і мазутів – вентиляційний патрубок.

Резервуари оснащуються приладами місцевого або дистанційного вимірювання рівня і температури рідини, що зберігається, автоматичною сигналізацією верхнього і нижнього рівнів та пристроями відбору середньої проби.

Для вилучення підпродуктової води резервуари всіх типів оснащуються сифонними кранами. Крани встановлюються на першому поясі стінки резервуара в будь-якому місці по обидва боки від осі люка-лазу на відстані не менше 1 м.

В'язкі нафта і нафтопродукти зберігають в резервуарах, які мають теплоізоляційне покриття і обладнані засобами підігріву, що забезпечують збереження якості рідин та пожежну безпеку.

Рухомі елементи конструкцій плаваючих покриттів і понтонів повинні виготовлятися з матеріалів, які виключають іскроутворення через тертя деталей, що переміщуються та від їх можливих співударів.

При ручному відборі проб та замірі рівня слід використовувати тільки заземлені пристрої, виготовлені з матеріалів з питомим опором менше  $10^5$  Ом·м.

Для обмеження вільного розтікання рідин з легкозаймистими та горючими рідинами при пошкодженнях і аваріях влаштовують обвалування. Його розташовують навколо окремих резервуарів чи групи резервуарів. Обвалування має вигляд суцільного земляного валу чи суцільної стінки з негорючих матеріалів з розрахунковою висотою і нормованою шириною.

Висота обвалування навколо резервуарного парку з ЛЗР та ГР повинна бути такою, щоб воно вмещало об'єм рідини, яка зберігається у найбільшому резервуарі і перевищувало рівень розлитої рідини на 0,2 м, тобто:

$$h_{обв.} = \frac{V_{max}}{F_{p.n.} - \sum_{i=1}^n F_i^p} + 0,2,$$

де  $h_{обв.}$  – висота обвалування, м;  $V_{max}$  – об'єм найбільшого резервуара, м<sup>3</sup>;  $F_{p.n.}$  – площа резервуарного парку, м<sup>2</sup>;  $F_i^p$  – площа  $i$ -того резервуара, м<sup>2</sup>;  $n$  – кількість резервуарів. Земляне обвалування у верхній частині має мати не менше 0,5 м завширшки.

Територія резервуарних парків і особливо майданчиків всередині обвалування повинна бути очищена від рідини, сміття, сухої трави і листя. Забороняється складувати на цій території горючі матеріали. Обвалування резервуара або групи резервуарів необхідно підтримувати у справному стані.

Для запобігання дії сонячних променів наземні резервуари для зберігання ЛЗР мають бути пофарбовані світлою фарбою.

На кожен резервуар повинна бути складена технологічна карта, в якій вказують номер резервуара, його призначення, максимальний рівень наливання, мінімальний залишок, швидкість наповнення і спорожнення, а також максимальну температуру підігрівання продукту, якщо в резервуарі зберігається продукт, що потребує підігрівання.

Наповнювати або спорожнювати резервуар можна тільки після перевірки правильності відкривання і закривання відповідних засувки. Продукт повинен надходити під шар рідини. Не дозволяється подавати продукт в резервуар "падаючим струменем".

В процесі експлуатації резервуарів необхідно постійно контролювати герметичність резервуарів, стан сифонових кранів, прокладок фланцевих з'єднань, сальникових засувок тощо. Виявлені несправності слід негайно усувати.

Дихальна арматура і вогнеперешкоджувачі, встановлені на резервуарах, повинні бути правильно відрегульовані і утримуватися в справному стані. Майданчик, де вони розташовані, має з'єднуватися зі сходовим майданчиком резервуара містком. Ходити безпосередньо по даху резервуарів забороняється. Дихальні клапани та вогнеперешкоджувачі у весняно-літній період необхідно перевіряти не рідше одного разу на місяць, а при мінусовій температурі повітря – не рідше двох разів на місяць. При оглядах дихальної арматури необхідно очистити клапани від бруду, взимку – від льоду; у гідравлічних клапанах перевірити рівень рідини. Дихальні клапани повинні бути з неприммерзаючими тарілками.

Гідравлічний запобіжний клапан необхідно заповнювати рідиною, що важко випаровується і не замерзає після кожного викиду. Замінювати цю рідину потрібно не рідше двох-трьох разів на рік.

Перед заповненням резервуара рідиною необхідно перевірити справність замірного пристрою. При замірі рівня рідини в резервуарі мірною стрічкою в замірному люку повинні бути кільце або колодка з металу, що виключає іскроутворення.

Резервуари, труби і інше устаткування слід очищати механізованим вибухопожежобезпечним способом. При ручному очищенні необхідно застосовувати інвентар, що виключає іскроутворення при ударах.

Під час огляду резервуарів, відбору проб або заміру рівня рідини допускається використовувати для освітлення лише акумуляторні ліхтарі у вибухозахищеному виконанні. Користуватися для освітлення сірниками, факелами, свічками, газовими лампами забороняється. Забороняється відбирати проби ЛЗР через верхній люк резервуара під час закачування або відкачування продукту.

Група резервуарів і окремо розташовані резервуари повинні бути забезпечені (відповідно до норм) первинними засобами пожежогасіння.

Якщо резервуари обладнані стаціонарними системами пожежогасіння, їх перевіряють в терміни, встановлені інструкцією (не рідше).

Зливноналивні споруди і робочі шляхи залізничних естакад повинні бути в справному стані і надійно заземлені. Майданчики, на яких розміщують зливноналивні споруди, повинні мати гладку поверхню; необхідно забезпечити можливість безперешкодного стоку пролітої рідини. Нерівності, вибоїни, ями, що з'являються на майданчику, потрібно негайно усувати.

По обидва боки зливноналивних пристроїв на залізничних коліях (на відстані двох двовісних або одного чотиривісного вагона) мають бути встановлені сигнальні знаки, що забороняють в'їзд тепловозів на ці колії. Рух тепловозів по залізничних коліях, на яких розташовані зливноналивні пристрої, забороняється. У разі потреби рух тепловозів і паровозів дозволяється лише по обхідних залізничних коліях. Зчеплення, розчеплення і сортування вагонів-цистерн повинні здійснюватися поза пунктами зливу і наливу. Подача під злив і

налив транспортних засобів допускається тільки після ретельного очищення майданчиків і залізничних колій від раніше пролитої рідини.

Подача залізничних цистерн під злив або налив і виведення їх повинні проводитися плавно, без поштовхів і ривків. Гальмування залізничних цистерн металевими черевиками на території зливноналивних пристроїв не дозволяється. Для цього можна застосовувати лише дерев'яні підкладки або інший матеріал, що не дає при гальмуванні іскор. Не допускається застосовувати як важелі сталеві ломи і інші сталеві предмети для зрушення з місця і підкати вагонів-цистерн до місця зливу і налив.

Забороняється під час зливноналивних операцій на естакаді проводити маневрові роботи або подавати на вільну колію окремі залізничні цистерни.

Перед початком зливноналивних операцій необхідно перевірити справність зливноналивних пристроїв, систем заземлення, перемикальних вентилів, засувок і правильність їх відкривання, а також щільність шлангів або телескопічних труб. Виявлені несправності в пристроях треба негайно усунути.

Забороняється приймати під налив вагони-цистерни без відмітки технічного огляду, а також з явними ознаками протікання або інших несправностей, перешкоджаючих наливанню в них рідини.

При наливі або зливі рідин з температурою спалаху пари  $45^{\circ}\text{C}$  і нижче обслуговуючий персонал повинен особливо обережно відкривати і закривати кришки люків цистерн, приєднувати шланги і інші прилади до цистерн, не допускаючи при цьому ударів. Інструмент, що використовується під час операцій зливу і налив, повинен бути виготовлений з металу, що виключає іскроутворення при ударах.

Щоб при наливанні рідини не було розбризкування, наконечник шланга повинен бути опущений до дна цистерни.

Якщо в процесі наливання виявиться протікання цистерни, то налив необхідно припинити до повного усунення несправності. У разі неможливості її усунення рідину з цистерни виливають і цистерну повертають на станцію відправлення.

Злив рідини з цистерни з несправним нижнім зливним пристроєм повинен проводитися через верхню горловину люка цистерни шляхом відкачування. В цьому випадку не дозволяється використовувати для відкривання нижнього зливного приладу металеві ударні інструменти.

Під час зливноналивних операцій не допускаються переповнення і облив цистерн рідиною. Для запобігання переливу продукту при наливанні його в цистерни слід застосовувати обмежувачі рівня налив.

Відігрівати застигли рідини в зливноналивних стояках і пристроях цистерн слід тільки парою, гарячою водою або нагрітим піском. Для відігрівання забороняється застосовувати відкритий вогонь (факели, паяльні лампи, жаровні і т.п.). Підігрівати ЛЗР, що застигають (бензол, льодову оцтову кислоту і ін.), допускається паровими або водяними грілками (змійовиками), а в'язкі нафтопродукти – електричними грілками. У роботу на повну потужність грілка включається тільки після повного її занурення в продукт. В процесі



підігрівання треба стежити за тим, щоб при розширенні продукту від нагрівання не відбувся перелив або викид його з цистерни.

Температура підігріву в'язких нафтопродуктів не повинна перевищувати 90 °С і бути на 15 °С нижчою за температуру спалаху рідини.

Під час зливноналивних операцій необхідно дотримуватися суворого протипожежного режиму. Розливу під час цих операцій рідину треба прибрати, а очищені місця засипати піском. Забороняється при цьому проводити ремонтні роботи, застосовувати відкритий вогонь, палити, використовувати для освітлення звичайні переносні електричні лампи.

Для місцевого освітлення місць під час проведення зливноналивних операцій можна застосовувати тільки акумуляторні ліхтарі у вибухозахищеному виконанні.

Забороняється проводити зливноналивні операції під час грози.

Зливноналивні пристрої повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до встановлених норм. Стан наявних стаціонарних систем пожежогасіння необхідно систематично перевіряти.

Забезпечення складів нафти і нафтопродуктів, резервуарів автоматичними установками пожежогасіння і автоматичною пожежною сигналізацією здійснюється згідно з таблицею 7.3.

**Таблиця 7.3.**

Вид приміщення	Нормативний показник приміщень, які підлягають обладнанню:	
	АУПГ	АПС
Складські приміщення для зберігання нафтопродуктів в тарі з $t_{сп} < 120^{\circ}\text{C}$	При площі $\geq 500\text{м}^2$	При площі $< 500\text{м}^2$
Складські приміщення для зберігання нафтопродуктів в тарі з $t_{сп} \geq 120^{\circ}\text{C}$	При площі $\geq 750\text{м}^2$	При площі $< 750\text{м}^2$
Приміщення для насосів і вузлів засувок у будинках продуктових насосних станцій на складах нафти і нафтопродуктів	При площі $\geq 300\text{м}^2$	При площі $< 300\text{м}^2$
Приміщення для насосів і вузлів засувок у будинках продуктових насосних станцій резервуарних парків магістральних нафтопроводів	Незалежно від площі, на станціях продуктивністю $\geq 1200\text{м}^3/\text{год}$	Незалежно від площі, на станціях продуктивністю $< 1200\text{м}^3/\text{год}$
Наземні резервуари для зберігання нафти і нафтопродуктів	Об'ємом $\geq 5000\text{м}^3$	–

### **Зберігання ЛЗР і ГР у тарі**

Легкозаймисті і горючі рідини в тарі можна зберігати в будівлях (сховищах), під навісами і на відкритих майданчиках.

Складські приміщення для горючих нафтопродуктів в тарі проектуються висотою не більше трьох поверхів, для легкозаймистих нафтопродуктів – одноповерховими. Зберігання горючих нафтопродуктів в тарі допускається в одноповерхових підземних спорудах.

Загальна місткість одного складського приміщення не перевищувати 1200 м<sup>3</sup> для легкозаймистих нафтопродуктів та 6000 м<sup>3</sup> – для горючих. Склади можуть розташовуватися в одному приміщенні з розливальними, роздатковими, насосними та іншими обслуговуючими приміщеннями з виокремленням складської частини протипожежними перегородками.

При зберіганні нафтопродуктів у складських приміщеннях і під навісами з механічним укладанням тари, висота стелажів чи штабелів приймається не більше 5,5 м. В кожному ярусі стелажу тара розміщується в один ряд по висоті і в два ряди по ширині. Ширина штабеля приймається не більше чотирьох піддонів. Між штабелями та стелажами влаштовуються проїзди шириною не менше 1,4 м і проходи – 1,0 м.

При зберіганні нафтопродуктів на відкритих майданчиках тара укладається у штабелі. Довжина одного штабеля не більше 25 м, ширина – 15 м, висота – 5,5 м; на кожному майданчику допускається розташування не більше шести штабелів. Для обмеження площ розливу нафтопродуктів майданчики (відкриті чи під навісом) для зберігання нафти та нафтопродуктів в тарі огорожуються земляним валом чи негорючою стіною висотою 0,5 м.

Зберігати рідини можна лише в справній тарі. Укладання бочок з ЛЗР і ГР в сховищі слід проводити обережно (для уникнення ударів їх один об одного) і обов'язково корками вгору.

У сховищах затарених нафтопродуктів забороняється зберігати промаслений спецодяг і обтиральні матеріали – скриньки для зберігання обтиральних матеріалів повинні знаходитися поза сховищем. Заборонено застосовувати сталевий інструмент, відкритий вогонь і палити.

У сховищах дозволяється тримати рідини в скляних бутлях, що поміщені в кошики. Кошики з бутлями допускається розміщувати групами не більше 100 бутлів в кожній, в два ряди по 50 бутлів в кожному ряду. Між групами бутлів повинен бути прохід завширшки не менше 1м. На відкритому майданчику зберігати бутлі з рідинами не дозволяється. Транспортування скляних і керамічних бутлів з горючими рідинами допускається на спеціальних візках або ношах з бортами. У сховищі забороняється зберігати порожню тару і закупорочний матеріал. Не допускається відпускати рідини наливанням.

Відпускати ЛЗР і ГР споживачам дозволяється тільки з розфасовувальних, розливних або роздавальних відділень в металеву вибухобезпечну герметичну тару з корками, що щільно закриваються. Відпускати ЛЗР і ГР споживачам в скляну тару не допускається. Металеві бочки, бідони та іншу тару з-під ЛЗР і ГР миють в спеціальних приміщеннях або на окремих мийних майданчиках із застосуванням негорючих мийних розчинів.

На територію складу ЛЗР і ГР забороняється в'їзд автомобілів, колісних тракторів і іншого механізованого транспорту, не обладнаного спеціальними іскрогасниками і засобами пожежогасіння.

Тарні сховища легкозаймистих і горючих рідин повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до встановлених норм; наявних стаціонарних систем пожежогасіння необхідно систематично перевіряти.

### 7.3. Пожежна безпека процесів зберігання твердих горючих матеріалів

Для нормального функціонування всіх галузей народного господарства (промисловості, сільського господарства, науки, охорони здоров'я) необхідно мати запаси різноманітних видів сировини, напівфабрикатів, хімікатів, тобто матеріальних ресурсів.

Речовини і матеріали, що виготовляються, можуть поставлятися споживачам безпосередньо, тобто транзитом, або через бази, склади, органи матеріально-технічного постачання, тому запаси матеріальних ресурсів створюються не лише на промислових підприємствах і збутових складах підприємств-виробників, але і на складах і базах постачальних та збутових організацій, а також на складах перевалочних транспортних організацій.

Завданням складського господарства є створення матеріальних ресурсів в асортименті, що необхідний для ритмічного постачання галузей народного господарства, забезпечення пожежної безпеки зберігання матеріалів, режиму і технології зберігання, максимальне використання площі і об'ємів, збільшення їх пропускної здатності, підвищення рівня механізації та інших функцій, пов'язаних з прийманням, розташуванням і відпуском матеріальних ресурсів споживачам.

У складських приміщеннях концентруються значні кількості речовин, тому необхідно особливо ретельно дотримуватись протипожежного режиму під час будь-якої складської операції (приймання, відпуск, зберігання, розфасовка тощо), особливо з хімікатами (хімічною продукцією, реактивами, препаратами).

Матеріальні склади поділяються на склади загального призначення і спеціалізовані. Склади загального призначення на залізничних станціях, в морських і річкових портах називаються пакгаузами. Пакгаузи призначені для тимчасового зберігання вантажів. Невеликі матеріальні склади іноді називають господарськими.

До складів загального призначення відносяться торгові бази і склади, матеріальні склади промислових підприємств, речові, склади військових частин, господарські склади навчальних, адміністративних, науково-дослідних і проєктних установ.

Склади металевих виробів, скла в упаковці, хімічних речовин, паперу, шкіри, гуми і гумотехнічних виробів, каучуку, сірників, інструментів входять до групи спеціалізованих складів.

На відміну від спеціалізованих, на складах загального призначення зберігаються товари різні за пожежною небезпекою і фізико-хімічними властивостям. Особлива увага надається сумісності зберігання речовин і матеріалів на складах та визначенню ефективних засобів гасіння пожеж. Під час зберігання у складах (приміщеннях) різних речовин та матеріалів повинні враховуватися їх пожежонебезпечні фізико-хімічні властивості (здатність до окиснення, самонагрівання, займання в разі потрапляння вологи, взаємодії з повітрям тощо), сумісність, а також ознаки однорідності речовин, що застосовуються для гасіння пожежі. Наприклад, спільне зберігання в одній

секції з каучуком або автомобільною гумою, а також ЛЗР та ГР будь-яких інших товарів і матеріалів, незалежно від однорідності вогнегасних речовин, які використовуються, не дозволяється.

Пожежна небезпека матеріальних складів характеризується також наявністю великої кількості горючого пакувального матеріалу і тари, дерев'яних стелажів, дерев'яних конструкцій будівель і навантажувально-розвантажувальних механізмів.

Крім укладання і переміщення товарів на складах здійснюється пакування, сортування, комплектація та їх зважування. Ці технологічні операції, а також присутність людей, створюють ряд умов для виникнення джерел запалювання. Тому у складських будівлях (приміщеннях) всі операції, пов'язані з розкриттям тари, розфасуванням продукції, перевіркою справності та дрібним ремонтом, приготуванням робочих сумішей вогнебезпечних рідин та іншими подібними до цих роботами, повинні здійснюватися в ізольованих приміщеннях.

За будовою склади загального призначення поділяють на відкриті (майданчики, платформи), напівзакриті (навіси) і закриті (опалювані і неопалювані). Закриті склади є основним типом складських приміщень.

Відкритий склад – майданчик, який розташований на незначній висоті над поверхнею землі, з нахилом для стоку атмосферних опадів, належним чином обладнаний і пристосований для складування і тимчасового зберігання продукції.

Напівзакритий склад – навіси з одно- або двосхилою покрівлею з негорючих матеріалів. Залежно від виду транспорту навіси споруджують з платформою шляхом насипання ґрунту або на рівні ґрунту. У них складують і зберігають хімічну продукцію, яку необхідно захищати від дії атмосферних опадів і сонячного проміння і яка не створює загрози виникнення пожежі.

Закриті склади – будівлі із залізобетонних, бетонних або інших негорючих матеріалів. Будівлі матеріальних складів найчастіше будують одноповерховими. Проте зустрічаються і багатоповерхові складські будівлі – до шести поверхів. Багатоповерховими можуть бути склади готової продукції промислових підприємств і великі оптові бази.

Для зберігання хімічних речовин споруджують звичайно одноповерхові будівлі. Одноповерхові складські будівлі мають ряд переваг перед багатоповерховими: на 1 м<sup>2</sup> площі підлоги одноповерхового складу допускається навантаження до 6 т, а на 1 м<sup>2</sup> міжповерхового перекриття – від 0,5 до 1,5 т. У одноповерховій складській будівлі краще використовувати механізми для обробки речовин.

У закритих складах складують і зберігають хімічну продукцію, яку необхідно захищати не тільки від вологи, але і від температурних коливань навколишнього середовища (повітря).

Складські приміщення (відсіки), розташовані в підвальних або цокольних поверхах, повинні мати люки чи вікна розміром 0,9 м х 1,2 м з приямками (для випускання диму в разі пожежі), які влаштовуються відповідно до вимог будівельних норм. У разі неможливості влаштування вікон дозволяється обладнання цих приміщень спеціальною системою димовилучення. Матеріальні

склади промислових підприємств можна споруджувати впритул до виробничих будівель, розділивши їх глухою протипожежною стіною.

Склади об'єктів торгівлі і будівництва, господарські склади адміністративних і навчальних закладів можна розташовувати в підвалах житлових будинків і установ при дотриманні ряду вимог:

- 1) склад не повинен містити ЛЗР, ГР, горючих газів, піротехнічних виробів;
- 2) перекриття над підвалом повинно мати межу вогнестійкості не менше REI 60;
- 3) виходи з складу повинні бути відокремленими від сходових кліток загального користування;
- 4) у підвалі не повинні знаходитися газові та парові комунікації, транзитні електрокабелі.

Для зберігання матеріалів, які є різними за пожежною небезпекою, склади розділяються протипожежними стінами на відсіки. Величина відсіку визначається за площею або кількістю матеріалів і речовин, що зберігаються. Допустима місткість відсіків встановлюється частіше для спеціалізованих складів (наприклад, для аміачної селітри).

Підвищену пожежну небезпеку на складах мають конторські та побутові приміщення. Їх необхідно ізолювати від складських приміщень. У складах конторські та побутові приміщення мають бути облаштовані протипожежними перегородками 1-го типу та перекриттями 3-го типу (без отворів) і мати один з евакуаційних виходів безпосередньо назовні. Сполучення цих приміщень зі складом допускається через протипожежні двері 2-го типу. У протипожежних перегородках, що відокремлюють конторські приміщення від складу, дозволяється влаштовувати протипожежні вікна 2-го типу, що мають сертифікат відповідності або свідоцтво про визнання відповідності.

Дозволяється розташовувати у складських приміщеннях робочі місця комірників (обліковців, відбракувальників, товарознавців) з обгородженням їх заксленими перегородками з негорючих матеріалів заввишки 1,8 м, які не повинні перешкоджати евакуації людей та матеріальних цінностей.

До будівлі складу окрім навантажувально-розвантажувальних рам забороняється прибудовувати будь-які приміщення, навіси. Виняток становить випадок, при якому зовнішня стіна складу є протипожежною. Зберігання вантажів, тари та вантажних механізмів на рампах складів не дозволяється. Матеріали, розвантажені на рампу, до кінця роботи складу мають бути прибрані.

Опалення складських приміщень – важлива ланка в загальному комплексі протипожежних заходів. Закриті склади поділяються на неопалювані і опалювані. На складах, де зберігають метали, металовироби, текстильні товари, підтримувати плюсову температуру необов'язково. Склади для зберігання продовольчих товарів потребують плюсової температури (+3°C). Для складів допускається тільки централізоване опалення (парове, водяне) з гладкими батареями, переважно – калориферне.

Забороняється застосовувати в робочих приміщеннях електронагрівальні прилади з відкритим нагрівальним елементом, а також з нагрівальним елементом, температура якого понад 95 °C. Використання опалювальних

електронагрівальних приладів допускається лише у приміщеннях для обслуговуючого персоналу складів (конторських, побутових), відділених від складських приміщень протипожежними перегородками та перекриттями. Для обігріву цих приміщень можна використовувати безпечні електронагрівальні прилади, наприклад масляні радіатори, які повинні мати окрему мережу живлення з пусковими і захисними пристроями і справними терморегуляторами. При виявленні несправності або порушенні температурного режиму нагрівник негайно вимикають і повідомляють про це особу, яка відповідальна за експлуатацію.

Матеріальні цінності на складах укладаються на стелажі або у штабелі.

У складських приміщеннях, розташованих у будівлях будь-якого ступеня вогнестійкості, допускається встановлювати стелажі з горючих матеріалів висотою не більше 3 м із влаштуванням проходів між стінами і стелажими завширшки не менше 1 м. Конструкції стелажів (у тому числі і полиці) висотою більше 3 м мають бути виготовлені з негорючих матеріалів.

У разі застосування безстелажного способу зберігання матеріали повинні укладатися у штабелі. Навпроти дверних отворів необхідно залишати проходи, які дорівнюють ширині дверей, але не менше 1 м. Якщо склад понад 10 м завширшки, посередині його влаштовується поздовжній прохід не менше 2 м завширшки. Ширина проходів між штабелями має бути не менше 1 м. Ширина проходів та місця штабельного зберігання повинні бути позначені обмежувальними лініями, нанесеними на підлозі, які добре видно. Відстань від стін до штабелів повинна бути не менше 0,8 м.

Для вилучення шкідливої пари, газів і пилу, що виділяється через нещільність тари, а також для створення температурного режиму і підтримки необхідної вологості, в складських приміщеннях передбачають вентиляцію. Залежно від ступеня шкідливості забруднень влаштовують природну, механічну або змішану вентиляцію. Вона повинна створювати певну кратність повітрообміну. При тимчасовому перебуванні людей в складських приміщеннях повинна передбачатися вентиляція з кратністю обміну від 1,5 до 5, при постійному перебуванні людей – від 3 до 10.

У складських приміщеннях, в яких зберігається особливо вибухопожежонебезпечна хімічна продукція, а також в приміщеннях розфасовки і перезатарування, передбачають аварійну вентиляцію. Вентиляційне обладнання має бути пожежобезпечним, а електроустаткування – у вибухобезпечному виконанні.

Балони з горючими газами, посудини (пляшки, сулії, інша тара) з ЛЗР та ГР, аерозольні упаковки мають бути захищені від сонячного й іншого теплового впливу.

У складах загального призначення допускається зберігання не більше 5 тис. аерозольних упаковок. За умови більшої кількості таких упаковок вони повинні зберігатися в окремих складах або ізольованих протипожежних відсіках загальних складів з безгорищними покриттями, які легко скидаються. В ізольованому відсіку дозволяється зберігання не більше 15 тис. упаковок.

Складування аерозольних упаковок у багатоповерховому складі дозволяється лише на верхньому поверсі у протипожежних відсіках. Кількість упаковок у відсіку не повинна перевищувати 150 тис. штук. Загальна місткість складу може становити не більше 900 тис. упаковок. На відкритих майданчиках або під навісами зберігання аерозольних упаковок допускається лише в негорючих контейнерах, що замикаються.

Конструкції будівель та навісів складів з матеріалів груп горючості Г3, Г4 мають бути оброблені вогнезахисними засобами, які забезпечують І групу вогнезахисної ефективності.

Використання опалювальних електронагрівних приладів допускається лише у приміщеннях для обслуговуючого персоналу складів (конторських, побутових), відділених від складських приміщень протипожежними перегородками та перекриттями. У складських приміщеннях, в яких зберігаються пожежовибухонебезпечні товари, речовини й матеріали (лаки, фарби, розчинники, сірники тощо), балони з газом та продукція в аерозольній упаковці, на зовнішньому боці дверей (воріт) повинна бути вивішена інформаційна карта, яка характеризує пожежну небезпеку товарів, що зберігаються у приміщенні, їх кількість та заходи, які слід вживати під час гасіння пожежі.

У складських приміщеннях не дозволяється:

- зберігання продукції навалом та впритул до приладів і труб опалення;
- стоянка та ремонт вантажно-розвантажувальних і транспортних засобів;
- експлуатація газових плит, печей, побутових електронагрівних приладів;
- влаштування чергового освітлення; встановлення прожекторів зовнішнього освітлення безпосередньо на дахах складів;
- зберігання аерозольних упаковок в одному приміщенні з окиснювачами, горючими газами, ЛЗР та ГР;
- зберігання кислот у місцях, де можливе їх контактування з деревиною, соломною та іншими речовинами органічного походження (для нейтралізації випадково розлитих кислот місця їх зберігання необхідно забезпечувати готовими розчинами крейди, вапна або соди);
- зберігання рослинних масел разом з іншими будь-якими горючими матеріалами;
- застосування транспорту з двигунами внутрішнього згорання без іскрогасників;
- в'їзд локомотивів безпосередньо до складських приміщень категорій А, Б, В.

Особливими є вимоги до складів хімічних речовин. Обслуговуючий персонал повинен знати пожежну небезпеку, правила безпечного зберігання і особливості гасіння хімічних речовин та реактивів.

На складах має бути розроблений план розміщення хімічних речовин із зазначенням їх найбільш характерних властивостей: “Вогненебезпечні”, “Отруйні”, “Хімічно активні” тощо.

Зберігання хімічних речовин може здійснюватися в закритих сухих приміщеннях або під навісами у тарі залежно від фізико-хімічних та пожежонебезпечних властивостей продукції та кліматичних умов. Під навісом дозволяється зберігання лише тих хімічних речовини, які від вологого повітря чи води не розкладаються, не розігріваються і не спалахують.

Небезпечні хімічні речовини дозволяється зберігати лише у суворій відповідності до призначених для них спеціальних правил.

Будівлі складів хімічних речовин мають бути не нижче II ступеня вогнестійкості. З урахуванням однорідності фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостей речовин, що зберігаються, склади повинні розбиватися на окремі приміщення (відсіки), ізольовані одне від одного протипожежними перегородками 1-го типу.

Хімікати у дрібній (невеликій) тарі необхідно зберігати на стелажах відкритого типу або у шафах, а у великій тарі (упаковці) – штабелями. Щоб уникнути перевантажень, на стелажах необхідно встановлювати максимально допустиму кількість (або масу) вантажних місць, яка дозволяється для одночасного зберігання.

Стелажі, на яких зберігаються хімічні речовини та матеріали, повинні бути виготовлені з негорючих матеріалів і розміщуватися від нагрівальних приладів на відстані не менше 1 м.

Тара з хімічними речовинами, яка надходить на склад, не повинна мати пошкоджень герметичності та інших ознак несправності. У разі виявлення пошкоджень тара повинна негайно вилучатися зі складу. На кожній тарі (упаковці) з хімічною речовиною повинен бути напис або бирка з його назвою та зазначенням характерних властивостей (окиснювач, пальне, самозаймисте тощо). Посудини з рідкими хімічними речовинами дозволяється зберігати лише обрешетованими дерев'яними планками або у плетених кошиках. Для вантажно-розвантажувальних робіт слід застосовувати устаткування залежно від пожежовибухонебезпечності продукції.

Підлога у приміщеннях для зберігання рідких хімічних речовин у тарі повинна мати нахил для стікання випадково розлитої рідини до спеціальних приймачів. У складах кислот повинні бути нейтралізуючі речовини (сода, крейда чи вапно). У приміщеннях, де зберігаються хімічні речовини, які можуть під час пожежі плавитися, необхідно передбачати пристрої, які обмежують вільне розтікання розплаву (бортики, піддони, пороги з пандусами тощо).

Металеві порошки, здатні самозайматися (алюмінієвий, цинковий, магнієвий, нікелевий), фосфор тощо, повинні зберігатися в окремих відсіках у герметично закритій тарі. У цих відсіках зберігання інших горючих матеріалів забороняється.

Пляшки, бочки, барабани з хімікатами встановлюються на відкритих майданчиках групами, не більше 100 шт. у кожній, з протипожежними відстанями між групами не менше 1 м. У кожній групі повинна зберігатися



продукція лише певного виду, про що робляться відповідні вказівні написи. Майданчики необхідно добре утрамбовувати та обгороджувати бар'єрами. Пляшки з реактивами на відкритих майданчиках мають бути захищені від дії сонячного проміння.

Під час зберігання азотної та сірчаної кислот треба вжити заходів до недопущення стикання їх з деревиною, соломкою та іншими речовинами органічного походження. Концентровану азотну кислоту не дозволяється розливати у скляні посудини.

Склади речовин, які бурхливо реагують з водою (карбіди, лужні метали, перекис барію, гідрат натрію тощо), повинні розміщуватися в сухих, добре вентильованих одноповерхових приміщеннях з легким дахом. У середині цих приміщень не повинні бути водяні, парові й каналізаційні труби. Дахи та стіни не повинні пропускати атмосферних опадів, приміщення повинні мати захист від потрапляння ґрунтових вод.

Лужні метали слід зберігати в ізольованих відсіках (секціях), розміщених у торці складської будівлі, у металевих банках або контейнерах під шаром захисного середовища (інертних газів, мінеральних масел, гасу, парафіну). У разі зберігання в одній секції складу різних лужних металів, кожний з них має розміщуватися на окремому стелажі. У відсіках, суміжних з відсіками, де знаходяться лужні метали, дозволяється зберігати лише негорючі хімічні речовини.

Барабани з металевим натрієм слід укладати з таким розрахунком, щоб у ширину було не більше двох, у довжину – восьми та у висоту – чотирьох барабанів.

Окиснюючі хімікати (хромпик, хромовий ангідрид, перманганат калію, хром, селітра та інші окиснювачі) повинні зберігатися в окремих секціях складів. Зберігати ці речовини з іншими горючими речовинами забороняється.

Сажу, графіти, подрібнені та порошкові полімери слід зберігати в окремих закритих, сухих складах або в секціях складів, захищених від потрапляння атмосферних опадів та ґрунтових вод. Під час зберігання подрібнених та порошкових полімерних матеріалів у прогумованих та поліетиленових мішках верхня джутова упаковка повинна зніматися.

Карбід кальцію повинен зберігатися в сухих добре провітрюваних приміщеннях. Рівень підлоги приміщення повинен бути на 0,2 м вище від планувальної позначки прилеглої території. Забороняється розміщувати склади для зберігання карбіду кальцію в підвальних приміщеннях та низьких затоплюваних місцях. Барабани з карбідом кальцію можуть зберігатися на складах як у горизонтальному, так і у вертикальному положенні. У механізованих складах дозволяється зберігання барабанів з карбідом кальцію у три яруси в разі вертикального зберігання, а за відсутності механізації – не більше трьох ярусів у разі горизонтального зберігання та не більше двох ярусів у разі вертикального зберігання. Між ярусами барабанів повинні бути укладені дошки завтовшки 40...50 мм. Ширина проходів між укладеними у штабелі барабанами з карбідом кальцію повинна бути не менше 1,5 м.

Аміачну селітру потрібно зберігати в окремих, не нижче II ступеня вогнестійкості, безгорищних одноповерхових будівлях, у штабелях не більше 2 м заввишки. В окремих випадках дозволяється в сільськогосподарських підприємствах зберігання селітри в загальному складі мінеральних добрив за умови, що приміщення (відсік) для її зберігання розміщуватиметься біля торцевої стіни і відділятиметься від іншої частини складу протипожежною стіною без отворів. При цьому вся будівля складу повинна бути не нижче II ступеня вогнестійкості. Кожний склад (відсік) площею понад 300 м<sup>2</sup> повинен мати не менше двох самостійних виходів. В одному складі дозволяється зберігання не більше 3,5 тис. тонн селітри, а у відсіку – 1,2 тис. тонн. У складських приміщеннях для зберігання аміачної селітри не повинно бути приямків, лотків, каналів та інших заглиблень.

Посудини з кислотами можуть встановлюватися на стелажах не більше ніж у два яруси по висоті або зберігатися на підлозі групами не більше 100 шт. у кожній по два чи чотири ряди, розділені бортиком не менше 0,15 м заввишки.

На складах хімічних речовин не дозволяється:

- проводити у складах роботи, не пов'язані із зберіганням хімічних речовин;
- входити персоналу у вологому одязі та взутті до складських приміщень, де зберігаються лужні метали та інші речовини, що вступають у реакцію з водою;
- застосовувати для закривання сулій з кислотою пробки з органічних матеріалів (дерева, тканини, соломи тощо);
- укладати тару з натрієм на стелажах на висоті менше ніж 0,2 м від рівня підлоги.

### **Запитання та завдання для самоконтролю**

1. Назвіть обладнання для зберігання горючих рідин, горючих газів та горючих твердих речовин.
2. Класифікація резервуарів для зберігання горючих рідин. Їх конструкція.
3. Чим зумовлена пожежна небезпека резервуарів і резервуарних парків?
4. Охарактеризуйте пожежну небезпеку газгольдерів.
5. Назвіть причини вибухів балонів.
6. Як поділяють резервуари для ЛЗР та ГР залежно від класу небезпеки?
7. Визначити висоту обвалування, яка необхідна для групи резервуарів, у яких зберігається пропан. Розміри резервуарів: довжина – 21 м, діаметр – 3,5 м. Кількість резервуарів в групі – 8 шт.
8. Вимоги до будівель, у яких зберігаються горючі гази в балонах.
9. У яких агрегатних станах зберігаються горючі гази в балонах? Наведіть приклади.
10. Назвіть вимоги до обвалування навколо резервуарних парків ЛЗР та ГР.
11. Як класифікують газгольдери?

12. В одному складі для нафтопродуктів в тарі зберігається 800 м<sup>3</sup> бензину, 1200 м<sup>3</sup> дизельного палива марки З, 100 м<sup>3</sup> масла машинного. Перевірити, чи відповідає даний склад вимогам безпеки?
13. Будова балона для горючих газів.
14. Яку інформацію містить маркування балона для газів?
15. Які особливості зберігання ацетилену в балонах у розчиненому стані?
16. Назвіть основні елементи газгольдера.
17. Причини утворення аварій у газгольдерах.
18. Визначити необхідну висоту обвалування для групи наземних резервуарів, призначених для зберігання бензину. В групі розташовано чотири резервуари із стаціонарними покрівлями, діаметр кожного резервуара становить 38 м, місткість кожного резервуара – 10000 м<sup>3</sup>.
19. Які вимоги до зберігання аміачної селітри?
20. Визначити температуру і час, при яких відбудеться самозагоряння повсті будівельної, складеної в штабель розмірами 2х3х4 м за умови розташування штабеля на теплоізольованій підлозі. Значення коефіцієнтів:  $A_p=1,729$ ;  $n_p=0,249$ ;  $A_b=2,350$ ;  $n_b=0,140$ .
21. Назвіть види матеріальних складів для зберігання твердих горючих матеріалів.
22. Які особливості зберігання речовин, що бурхливо реагують з водою (карбіди, лужні метали, перекис барію, гідрат натрію)?
23. Назвіть конструктивні особливості підлоги в приміщеннях для зберігання рідких хімічних речовин у тарі.
24. Які конструктивні особливості матеріальних складів промислових підприємств?
25. Як складують аерозольні упаковки у багатоповерховому складі? Вкажіть найбільшу кількість аерозольних упаковок, яку дозволяється зберігати у відсіку, у складі.
26. Особливості зберігання лужних металів.

## РОЗДІЛ 8

### ПРОЦЕСИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ

Сучасні виробництва мають складні транспортні (трубопровідні, конвеєрні) системи, що пов'язують технологічні апарати, пристрої, посудини для зберігання. Ці системи включають в себе технологічні трубопроводи, насоси, компресори, проміжні посудини, транспортери, бункери, циклони та інші технологічні пристрої. **Транспортування** (з лат. *transporto* – перенесення, переміщення) – технологічний процес переміщення речовин та матеріалів від місця його походження до місця призначення.

#### 8.1. Пожежна безпека процесів транспортування горючих газів

Газова промисловість – потужна галузь економіки України, вплив якої на функціонування і розвиток народного господарства є вирішальним. Географічне розташування нашої країни сприяло тому, що 90 % (понад 140 млрд м<sup>3</sup>) усіх експортних поставок газу з країн СНД здійснюється через Україну.

Україна має розгалужену мережу трубопровідного транспорту – протяжність газопроводів становить 37,1 тис. км. Природний газ надходить в Україну по 22 магістральних газопроводах, а виходить за межі – по 15. Основні магістральні газопроводи – „Братерство”, „Союз”, “Прогрес”, „Уренгой–Помари–Ужгород”. Довжина розподільчих мереж – 246,1 тис. км.

Газотранспортна система нашої країни об'єднує 72 компресорні станції (122 компресорні цехи).

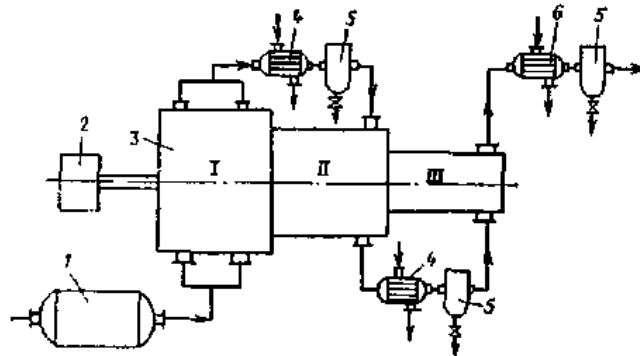
Облік кількості газу і визначення якості газу здійснюється на газовимірювальних станціях (ГВС). Газ, що надходить, вимірюється на 9 ГВС і двох пунктах вимірювання газу (дві – територія Білорусь, решта – Росія). Облік газу, що відходить здійснюється на 10 ГВС (дев'ять – територія України, одна – Росія).

Гази транспортують в холодному і нагрітому стані під різним тиском та на будь-якій відстані. Рух газів може виникати завдяки вакууму – у вакуум-насосах та завдяки підвищеному тиску – у компресорних машинах. Залежно від величини тиску компресорні машини (з лат. *compressor* – стискач) поділяють на вентилятори – стискають газ до тиску  $P=0,01$  МПа; газодувки – створюють тиск  $P=0,01 \dots 0,3$  МПа та компресори – створюють тиск  $P > 0,3$  МПа.

За принципом роботи компресори поділяють на поршневі, в яких газ стискається в замкнутому об'ємі при русі поршня; ротаційні, в яких стиснення і переміщення газів здійснюють при русі поршня (роль поршня виконують обертові ротори або гвинти); відцентрові, в яких гази набувають високої швидкості, яка потім перетворюється в тиск; струменеві, які використовують потік газу з високою швидкістю з насадок спеціальної форми. Відцентрові компресори ефективно стискають гази до тиску 3,5 МПа; поршневі – створюють будь-який тиск.

Залежно від величини тиску їх поділяють на компресори низького тиску –  $P \leq 1$  МПа; середнього –  $P \leq 10$  МПа та високого –  $P > 10$  МПа. Високий тиск (до 1200 атм) створюють з допомогою поршневих або плунжерних насосів; для великих витрат газу передбачено турбінні насоси.

Процес компримування газу (з лат. *comprimo* – стискаю) супроводжується виділенням тепла та підвищенням його температури. Для зменшення температури використовують багатоступеневе стиснення та міжступеневе охолодження газу в кожухотрубних холодильниках. Компресори можуть бути одно- та багатоступеневі (дво-, три-, п'ятиступеневі) (рис. 8.1.).



**Рисунок 8.1** – Схема триступеневого компресора:

I, II, III – циліндри ступенів стиснення газу; 1 – сепаратор; 2 – кривошипно-шатунний механізм; 3 – компресор; 4 – міжступеневі холодильники; 5 – маслозбірники; 6 – кінцевий холодильник.

Компресори разом з двигунами і мережею комунікацій (підвідні та відвідні трубопроводи, газові колектори для розподілу потоків газу, системи обслуговування) розташовують у компресорних станціях. Компресори мають складне масляне господарство, до якого входять масляні насоси, система маслопроводів, маслорозподільники (для вилучення з газу масла), конденсатовідвідники (для вилучення конденсату води або вуглеводних рідин), витратні масляні баки, маслоохолоджувачі, фільтри тощо. Працюють компресори від електродвигунів, ДВЗ і газових двигунів (газомоторів).

Компресорні станції розташовують в одноповерхових будівлях. Станції, які перекачують скраплені гази називаються насосно-компресорними.

### **Протипожежний захист компресорів і компресорних станцій**

Щоб уникнути утворення горючих концентрацій всередині компресорів необхідно забезпечити повну герметичність на стороні всмоктування вакуум-насосів, систематично контролювати вміст кисню на всмоктувальних лініях, які працюють під вакуумом, підтримувати підпор повітря на стороні всмоктування дотискних компресорів в межах 0,107 МПа і більше. Для запобігання надходження газу в приміщення компресорних станцій герметизують робочий простір компресора і трубопровідної обв'язки, влаштовують місцеву витяжку, загальнообмінну і аварійну вентиляції та автоматичні системи виявлення горючих газів у повітрі компресорних станцій. Стационарні автоматичні газоаналізатори горючих газів блокують з приводом

аварійної вентиляції. Компресори захищають пружинними запобіжними клапанами, які встановлюють на кожному ступені чи на вищому ступені стиснення, передбачають блокування, що забезпечує неможливість запуску компресора при закритих чи неповністю відкритих засувках. Забезпечують регулярний спуск масла, що нагромадилось з масловіддільників, контролюють температурою газу і води в холодильниках, не допускаючи її підвищення понад встановлену норму (30...35°C). Після припинення подачі води на охолодження компресор зупиняють. Здійснюють контроль за тиском в системі гідравлічного ущільнення, не допускаючи його падіння нижче за встановлену межу.

Заборонено експлуатувати компресор у випадку відсутності контролю за тиском і температурою масла в системі змазування, при наявності стуку і перегрівання частин, що труться. Якщо за умовами технології в циліндри може надходити обводнений газ чи разом з газом – конденсат, то перед компресорами на всмоктувальних лініях встановлюють сепаратори чи осушувачі.

Потужні компресорні установки обладнують системою автоматичної сигналізації і електроблокування, яка забезпечує зупинку компресора при падінні тиску на всмоктувальній лінії нижче 0,107 МПа, припиненні подачі масла в циліндри компресора, а також холодоагенту в холодильники, переповненні масловіддільників, підвищенні тиску чи температури на виході з циліндрів компресора понад гранично допустимі.

Автоматичний контроль температури підшипників, використання іскробезпечних електродвигунів для приводу компресорів, спрямування скинутих вихлопних газів з газомоторів у бік, який протилежний скинутим горючим газам від запобіжного клапана; використання інструменту з матеріалів, що не висікають іскор при ударах; своєчасне прибирання з приміщень промаслених ганчірок запобігає виникненню джерел запалювання в компресорних станціях.

Відкриті електродвигуни виконують обдувними, для чого всі частини, що іскрять чи повністю весь двигун закривають кожухом, у який подають повітря під надлишковим тиском, блокуючи його подачу з пусковою системою електродвигуна, щоб запуск і робота двигуна здійснювались тільки після подачі повітря на обдув.

Будівлю компресорної виконують одноповерховою, з негорючих матеріалів з легкоскридними конструкціями у вигляді вікон, що відкриваються назовні, дверей і панелей покриття, забезпечують газонепроникність стін, які відокремлюють компресорне відділення від інших приміщень газокompресорного цеху, всі трубопроводи, що проходять через ці стіни, герметично замурують.

В компресорних приміщеннях заборонено встановлювати посудини з маслом. Витратні бачки для масла, загальною місткістю не більше тридобового запасу можна розташовувати в приміщенні, яке відокремлене від компресорної установки глухою непроникною стіною з виходом назовні. Влаштовують перешкоди на шляху можливого розливу масла. На великих компресорних

станціях «масляне господарство» захищають автоматичними установками пожежогасіння.

Повітроводи системи вентиляції обладнують автоматичними клапанами, що самозакриваються, забезпечують примусову вентиляцію кабельних тунелів і контроль газоповітряного середовища у них.

Щоб уникнути втягування повітря компресорами для стиснення газів, всмоктувальні лінії повинні бути під надлишковим тиском. Якщо за умовами роботи компресора всмоктувальна лінія повинна бути під розрідженням, то горючий газ після стиснення необхідно безперервно або систематично аналізувати на вміст кисню.

Щоб запобігти можливості проникнення горючих газів з компресорного відділення в інші приміщення газокompресорного цеху, необхідно герметизувати місця проходження трубопроводів через стіни.

Для перетиснення скраплених горючих газів за допомогою монжусів не допускається застосовувати стиснене повітря. При перетисненні скраплених горючих газів необхідно використовувати інертний газ або такий ж горючий газ.

При роботі компресора необхідно контролювати тиск газу в кожному ступені стиснення, не допускаючи його підвищення понад встановлений цеховою інструкцією. Компресори повинні бути обладнані манометрами або автоматичними регуляторами тиску, що вимикають компресор у разі підвищення тиску понад допустиме значення.

При стисненні горючих газів необхідно систематично контролювати герметичність ущільнювальних пристроїв, тиск в системі гідравлічного ущільнення і справність системи автоматичної сигналізації та блокування, що забезпечує зупинку компресора при падінні тиску в системі гідравлічного ущільнення нижче гранично допустимого.

У разі виявлення витоків газу компресор слід зупинити і усунути дефекти. Усувати витоків газу на працюючому компресорі не допускається. При змазуванні частин компресора, які труться, необхідно стежити за тим, щоб мастило не розтікалося, не розбризкувалося і не проливалось на підлогу приміщення.

Системи змащування механізму руху, циліндрів і сальників повинні блокуватися з системою пуску двигуна компресора так, щоб двигун автоматично зупинявся і не міг включитися в роботу, якщо тиск в системі змащування нижчий за допустимий.

Для зменшення відкладень в трубопроводах мастила, що відноситься газом, необхідно не перевищувати витрати мастила. Норми витрати мастила повинні бути вказані у виробничій інструкції. Не допускається очищати трубопроводи і холодильники від масляного конденсату випалюванням.

У компресорних станціях при стисненні горючих газів для контролю за станом повітряного середовища в приміщенні необхідно застосовувати стаціонарні автоматичні сигналізатори горючих газів.

Місцева витяжка для уловлювання горючих газів, що виходять через нещільність сальників, повинна бути справною.

За наявності системи обдування повітрям електродвигунів відкритого виконання необхідно стежити за справністю пристрою автоматичного блокування, що забезпечує ввімкнення повітряного компресора або резервного вентилятора при зниженні тиску повітря в системі обдування.

У приміщенні компресорної станції мають справно і безперебійно працювати усі вентиляційні пристрої. При несправній і вимкненій вентиляції робота компресорів не допускається.

Біля машин і приміщень компресорної не повинно бути легкозаймистих речовин. Необхідно постійно стежити за справністю наявних в компресорній станції стаціонарних систем пожежогасіння і станом первинних засобів пожежогасіння.

## **8.2. Пожежна безпека процесів транспортування легкозаймистих та горючих рідин**

На промислових підприємствах легкозаймисті та горючі рідини транспортують різними способами – перекачуванням насосами, самопливним зливом, перетисненням газами чи рідинами, методом ерліфту (газліфту).

### **Транспортування ЛЗР та ГР насосами**

Транспортування насосами – найбільш поширений спосіб транспортування ЛЗР, ГР та скраплених газів. Насоси – це гідравлічні машини, що забезпечують всмоктування і нагнітання (подачу) рідини. Підведена від двигуна енергія у насосі перетворюється в енергію потоку рідини. За видом робочої камери та типом сполучення її з входом і виходом насоса розрізняють об'ємні та динамічні насоси. Рідка фаза в об'ємних насосах переміщається в результаті періодичних змін об'єму камери, яка поперемінно сполучається з входом та виходом насоса. У динамічних насосах рідка фаза переміщається під силовою дією на неї в камері, яка постійно сполучається з його входом та виходом. В об'ємних насосах енергія і тиск підвищуються в результаті витіснення рідини з замкнутого простору тілами, що рухаються зворотно-поступально чи обертально. Відповідно до форми руху робочих органів їх поділяють на зворотно-поступальні (поршневі, плунжерні, діафрагменні) і обертальні чи роторні (шестеренні, гвинтові тощо).

В динамічних насосах енергія і тиск рідини підвищуються під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні лопатевих коліс (наприклад, у відцентрових і осьових насосах), чи сил тертя (наприклад, у струминних і вихрових насосах). Тому за видом силової дії на рідину динамічні насоси поділяють на лопатеві і насоси тертя.

Найбільш поширеними динамічними насосами є лопатеві. До цього типу насосів відносять відцентрові і осьові. Принцип їх роботи базується на силевій взаємодії лопатей робочого колеса з обтікаючим потоком рідини, що перекачується. Однак, механізм цієї взаємодії у відцентрових і осьових насосах різний – тому існують суттєві відмінності у їх конструкціях і експлуатаційних показниках.



У поршневих насосах рідина переміщується за допомогою поршня, що здійснює зворотно-поступальні рухи. На даний час поршневі насоси застосовуються для перекачування невеликої кількості рідини, створення високого тиску, перекачування в'язких рідин тощо. Величина створюваного тиску обмежується механічною міцністю деталей насоса.

В ротаційних насосах рідина витісняється з замкнутої камери в нагнітальний патрубок зубами шестерень, які обертаються, кулачками, гвинтами або пластинами, що радіально переміщуються. Насоси цього типу можуть створювати тиск близько 10 МПа і вище при відносно невеликій продуктивності.

З появою швидкохідних парових турбін і, особливо, електродвигунів, широкого застосування набули динамічні насоси. Залежно від сил, що діють на рідку фазу, розрізняють динамічні лопатеві насоси та насоси тертя.

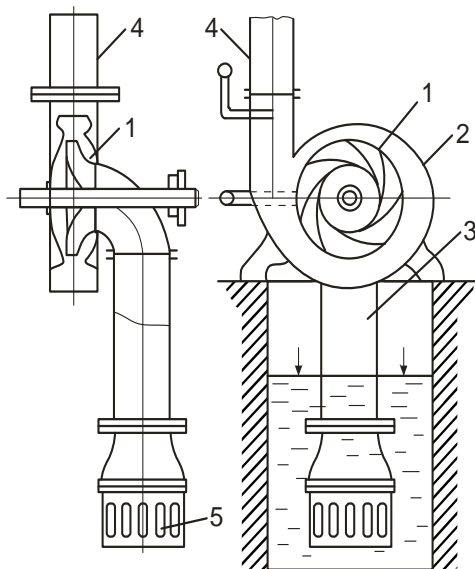
У лопатевих насосах, до яких належать відцентрові та осьові, рідина переміщується від центра робочого колеса до його периферії під дією відцентрових сил, які виникають при силовій дії лопаток робочого колеса на рідину, що перекачується.

У вихрових насосах рідина переміщується по периферії робочого колеса в тангенціальному напрямку завдяки силам тертя, що виникають при обертанні робочого колеса. Вони застосовуються для перекачування малов'язких рідин, які не містять абразивних домішок. Осьові насоси не створюють високого тиску (не більше 0,15 МПа), але продуктивність їх може досягати декількох десятків кубічних метрів за секунду. Струменеві насоси використовують кінетичну енергію потоку рідини для створення тиску. Вони мають невисокий коефіцієнт корисної дії та застосовуються, як правило, для перекачування невеликих об'ємів рідини.

Найчастіше для транспортування рідин використовують відцентрові насоси. Вони забезпечують рівномірну подачу рідини, мають невеликі розміри при значній продуктивності, досить прості в експлуатації та менш вибухопожежо-небезпечні (при збільшенні опору в лініях працюють „на себе”). Приводи насосів – електродвигуни, двигуни внутрішнього згорання, газові турбіни.

Відцентрові насоси класифікують за рядом ознак. Залежно від температури рідини, що перекачується, насоси поділяються на холодні (для температури рідини до 250°C) та гарячі (для температури рідини 250...400°C). За призначенням насоси поділяються на насоси для перекачування нафти і нафтопродуктів, скраплених вуглеводневих газів, кислот та лугів. Залежно від величини створюваного тиску розрізняють низьконапірні (одноступеневі), середньонапірні (одно- і багатоступеневі) та високонапірні (багатоступеневі) насоси. За величиною подачі розрізняють насоси малої (до 100 м<sup>3</sup>/год), середньої (100...1000 м<sup>3</sup>/год) та великої (більше 1000 м<sup>3</sup>/год) подачі.

Основним елементом відцентрового насоса (рис. 8.2) є робоче колесо (1) з загнутими назад лопатками, яке з великою швидкістю обертається у корпусі спіралеподібної форми (2). Рідина з впускного трубопроводу (3), на кінці якого розташований приймальний клапан з сіткою (5), надходить по осі колеса і потрапляє на його лопатки. Під дією відцентрової сили тиск рідини збільшується і вона викидається з колеса в нерухомий корпус (2) та нагнітальний трубопровід (4). При цьому на вході в колесо створюється знижений тиск, і внаслідок різниці тисків рідина з приймального резервуара безперервно надходить в насос.



**Рисунок 8.2** – Схема відцентрового насоса:

1 – робоче колесо; 2 – корпус; 3 – впускний трубопровід; 4 – нагнітальний трубопровід;  
5 – приймальний клапан з сіткою

### **Пожежна безпека насосів**

Підготовку насоса до ремонту з використанням вогневих робіт здійснюють у такій послідовності: зупиняють насос, закривають засувки на вхідній і вихідній лінії, надлишковий тиск всередині насоса зменшують до атмосферного, звільняють насос від горючої рідини, від'єднують його від діючих ліній засувками, промивають і пропарюють насос та відкривають його.

Ефективним є централізований ремонт насосного обладнання, при якому несправні насоси замінюють новими, відремонтованими раніше в спеціальних цехах. Під час роботи насоса не допускається витікання рідини через сальник. Набивання і підтягування сальників, їх кріплення, а також інші види ремонту не проводяться. Для перекачування скраплених газів, легкозаймистих, а також отруйних рідин використовують безсальникові насоси – мембранні, занурні, у яких витікання продукту неможливе. При використанні сальникових насосів використовують насоси з торцьовими ущільнювачами.

Для профілактики витікань з насосів проводять систематичний контроль за герметичністю ущільнень. Виникненню вібрації насосів запобігають їх правильним вибором, ретельним регулюванням та влаштуванням надійного фундаменту.

Різко не збільшують і не зменшують число обертів відцентрових насосів та число ходів поршня поршневих насосів задля запобігання гідравлічним ударами в лініях. Щоб запобігти підвищенню тиску, на поршневих, шестеренчастих і гвинтових насосах встановлюють запобіжні клапани і перепускні лінії зі сторони нагнітання на всмоктування. Нагнітальні трубопроводи відцентрових насосів захищають пружинними запобіжними клапанами, передбачають блокування, що не допускає запуск насосів при закритих засувках. Виникненню вібрації насосів запобігають їх правильним вибором, регулюванням і розташуванням на надійному фундаменті.

В приміщеннях насосних для перекачування скраплених газів і легкозаймистих рідин здійснюють постійний контроль за станом повітряного

середовища з допомогою стаціонарних газоаналізаторів, які зблоковані з аварійною системою вентиляції і під'єднані до автоматичних систем управління. Всі приймальні і напірні трубопроводи насосів мають додаткові запірні пристрої на відстані не більше 50 м і не менше 3 м (від стіни з прорізами) чи безпосередньо біля глухої стіни будівлі.

Підшипники насосів своєчасно змащують; систематично контролюють температуру підшипників і сальників, не допускаючи їх перегрівання. Насоси і їх обв'язку заземлюють. Вентилятори повинні бути іскробезпечного виконання.

Приміщення для розташування ДВЗ відокремлюють від приміщень для насосів протипожежними перешкодами. Вали, що з'єднують двигуни з насосами, в місцях проходження через стіни обладнують сальниковими ущільненнями.

Якщо насоси розташовують під етажерками, на яких містяться апарати з ЛЗР і ГР, то перекриття над насосами виконують з матеріалів, непроникних для рідких продуктів, огорожують бортиком висотою 0,14 м і обладнують пристроями для відведення рідини. При цьому передбачають можливість дистанційної зупинки насосів з допомогою пристроїв, що розташовані поза етажеркою в безпечному місці.

Якщо це можливо, то насосні будують відкритими, щоб дати можливість розсіюватись парам у атмосфері. Від приміщень іншого призначення (операторна, венткамера, електроприміщення) насосну відокремлюють глухими, негорючими, газонепроникними стінами, «гарячі» насоси від насосів, що перекачують інші рідини, – глухими непроникними стінами.

У насосних станціях повинні бути засоби ліквідації аварійних витікань рідин і первинні засоби пожежогасіння. Приміщення насосних обладнують стаціонарними установками об'ємного (парою, газом) чи пінного гасіння з ручним чи автоматичним пуском в дію.

Для перекачування скраплених газів і легкозаймистих рідин слід застосовувати безсальникові насоси, а також насоси з торцевими ущільненнями, або з іншими конструкціями ущільнюючих пристроїв підвищеної надійності. Для змиву і випаровування розлитого продукту і масла в приміщенні насосної станції повинні бути крани з шлангами для подачі води і водяної пари.

У насосних для перекачування легкозаймистих або горючих рідин необхідно забезпечити безперебійну і справну роботу системи приточно-втяжної вентиляції.

Запускати насоси в роботу при несправній або вимкненій вентиляції не дозволяється.

При роботі насосів необхідно стежити за змазуванням частин. Не повинно бути розтікання, розбризкування і нагромадження під насосами мастильних матеріалів. Під час роботи насосів не допускається витікання рідини через сальники. У разі пропуску сальника насос слід зупинити, понизити тиск рідини до атмосферного, підтягнути або замінити набивку сальникового ущільнення. Не допускається підтягувати набивку, а також кріпити сальники і фланці у працюючих насосів.

При виявленні несправностей, що порушують нормальний режим роботи насоса, його необхідно зупинити і усунути несправність. Не можна різко збільшувати або зменшувати частоту обертання відцентрових насосів, а також число ходів поршня поршневих насосів щоб уникнути гідравлічних ударів в лініях.

При розташуванні насосів під етажерками повинна бути передбачена можливість дистанційної зупинки їх за допомогою пристроїв, встановлених поза етажеркою в безпечному місці.

Насосні приміщення необхідно постійно тримати в чистоті. Підлогу, лотки, приямки і фундаменти насосів необхідно регулярно очищати від розлитого продукту і мастила. Забороняється застосовувати легкозаймісті рідини для миття підлоги і устаткування.

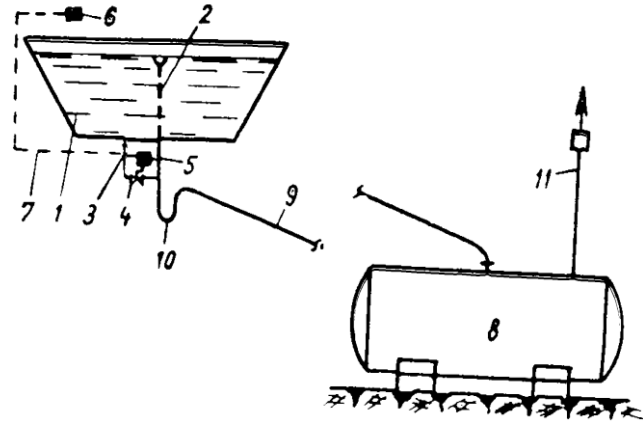
У приміщеннях насосних для перекачування скраплених газів і легкозаймістих рідин необхідно постійно контролювати стан повітряного середовища.

Зберігання легкозаймістих та горючих рідин в насосній не допускається. Змащувальні матеріали (у розмірі добової потреби) дозволяється зберігати в спеціальній металевій тарі з кришками, що щільно закриваються.

Необхідно постійно стежити за наявністю в насосній станції первинних засобів пожежогасіння і справністю наявних стаціонарних систем пожежогасіння.

### Самопливний злив ЛЗР та ГР

Самопливні трубопроводи працюють завдяки перепаду рівнів рідини. Найчастіше цей спосіб транспортування застосовують на періодично діючих виробництвах з напірними баками, на зливних лініях (лінії зливно-наливних естакад), для транспортування допоміжних потоків (аварійний злив, промислова каналізація). На рис. 8.3. показана схема самопливного аварійного зливу.



**Рисунок 8.3** – Схема аварійного зливу ЛЗР чи ГР самопливом:

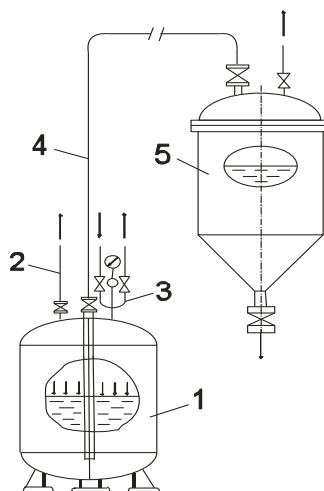
- 1 – ванна; 2 – переливний трубопровід; 3 – аварійний трубопровід; 4 – аварійна засувка з противагою; 5 – противага засувки; 6 – легкоплавкий замок; 7 – трос з легкоплавким замком; 8 – аварійна ємність; 9 – зливна лінія; 10 – гідравлічний затвор; 11 – дихальна лінія з вогнеперешкоджувачем

Пожежна безпека при транспортуванні самопливним зливом забезпечується влаштуванням гідравлічних затворів (вигнуті труби, труби в приямку, спеціальні колодязі). Для запобігання переливання рідини напірні баки обладнують рівнемірами, переливними лініями і пристроями аварійного зливу.

## Перетиснення рідин повітрям, стисненими газами чи рідинами

Перетиснення – це процес переміщення рідин тиском стисненого повітря, інертного газу (частіше за все азоту) чи рідини.

Установки перетиснення використовують для переміщення невеликої кількості рідин на незначні відстані (наприклад, переміщення фарби з фарбонагнітального бачка до пульверизатора). До їх переваг відносяться значне зменшення втрат через відсутність сальників насосів, компактність та економічність. Недолік – апарат працює під тиском. Типова установка перетиснення (рис. 8.4) складається з таких елементів: тисковий витратний бак (пневмобак) (1), лінія живлення з базового складу (2), лінія стисненого повітря або інертного газу з манометром і запобіжним клапаном (3), приймальна ємність (5).



**Рисунок 8.4** – Установка для перетиснення рідин повітрям:

1 – апарат з рідиною; 2 – наповнювальна лінія; 3 – трійник для запобіжного клапана, лінії стисненого повітря і манометра; 4 – лінія для переміщення рідини; 5 – приймальна ємність

Крім того до складу таких установок входять повітряні компресори або газобалонні батареї, а також прилади контролю та автоматичного регулювання. При роботі витратний бак спочатку заповнюється рідиною з базового складу, а потім в ньому створюється тиск. Під дією тиску рідина по сифонній трубці потрапляє у витратну лінію та подається для подальшого використання.

Ємність обладнують витратною трубою з забором рідини з її нижньої частини, а в верхню частину посудини вводять стиснутий газ чи легку рідину під тиском. При перетисненні повітрям всередині посудини можливе утворення горючих концентрацій. У випадку подачі у посудину робочого газу чи рідини під підвищеним тиском можливе її пошкодження.

### Пожежна безпека при перетисненні

Для транспортування перетисненням легкозаймистих рідин, а також горючих рідин, нагрітих до температури вище 20 °С, необхідно застосовувати інертний газ. Для перетиснення горючих рідин з температурою спалаху вище 45 °С, нагрітих до температури не вище 20 °С, допускається використовувати стиснуте повітря. Рослинні олії і жири допускається перетискати повітрям, якщо вони нагріті до температури не вище 70 °С.

В разі подачі в посудину робочого газу чи рідини з підвищеним тиском можливе її пошкодження (до руйнування). Необхідно постійно проводити контроль тиску в системі; а для скидання надлишкового тиску на лінії подачі робочого газу встановлювати запобіжні клапани. На лінії живлення повинен бути зворотній клапан.

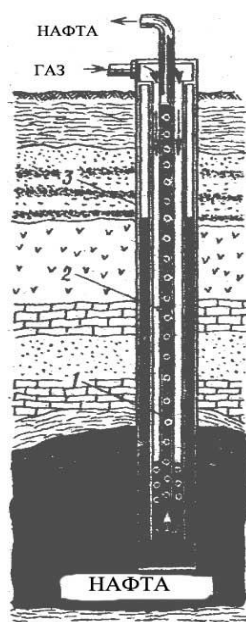
Якщо ємність витратного бака з ЛЗР більша за  $1 \text{ м}^3$ , а з ГР – більша за  $5 \text{ м}^3$ , то повинна бути система аварійного зливу.

Під час експлуатації можливе витікання парів чи рідин через нещільності з'єднань. Тому слід застосовувати герметичні з'єднання, бензиностійкі прокладки, періодично підтягувати болтові з'єднання.

### Транспортування рідин методом ерліфту (газліфту)

Газліфт (ерліфт) (з лат. *aere* – повітря, з лат. *lift* – підйом) – система підйому рідини, що складається з експлуатаційної (обсадної) колони труб і опущених до неї насосно-компресорних труб (НКТ), у якій підйом рідини здійснюють з допомогою стисненого газу чи повітря, що нагнітаються у свердловину.

У затрубний простір нагнітають газ високого тиску (рис.8.5.), в результаті чого рівень рідини в ньому буде знижуватися, а в насосно-компресорних трубах – підвищуватися. Коли рівень рідини знизиться до нижнього кінця НКТ, стиснений газ буде надходити в НКТ і перемішуватися з рідиною. В результаті густина такої газорідинної суміші стане меншою за густину рідини, що надходить з пласту, а рівень в НКТ буде підвищуватися. Чим більше буде введено газу, тим меншою буде густина суміші і тим вище вона підніметься. При безперервній подачі газу у свердловину рідина (суміш) підніметься вгору і вилетіть на поверхню, а з пласту постійно надходить у свердловину нова порція рідини.



**Рисунок 8.5** – Схема добування нафти методом газліфту:

1 – труби для підйому нафти; 2 – нагнітальні труби; 3 – експлуатаційні труби

Компресорний метод використовують, коли пластовий тиск недостатній для витіснення нафти на поверхню землі (на відміну від фонтанного способу, при якому пластовий тиск високий).

До переваг компресорного способу експлуатації свердловин слід віднести: можливість відбору великих об'ємів рідини практично при всіх діаметрах експлуатаційних колон; експлуатацію свердловин з великим газовим фактором, тобто використання енергії пластового газу; малий вплив профілю ствола свердловини на ефективність роботи газліфта; гнучкість та порівняно просте регулювання режиму роботи свердловин; простота обслуговування та ремонту газліфтних свердловин тощо. До недоліків компресорного способу слід віднести: великі початкові капітальні вкладення в будівництво компресорних станцій; порівняно низький коефіцієнт корисної дії газліфтної системи; можливість утворення стійких емульсій в процесі підйому продукції свердловин.

Під час компресорного способу видобутку нафти основна пожежна небезпека виникає у випадку засмоктування повітря в робочу магістраль при роботі компресорів, при пропусканні газу через нещільності сальників, фланцевих з'єднань, вентилів та засувок, а також при перевищенні тиску в компресорі понад допустиме значення (може супроводжуватися вибухом).

Основними заходами щодо запобігання утворення горючого середовища при транспортуванні рідин методом газліфту є: контроль за густиною, кількістю та циркуляцією бурового розчину, герметизація устя свердловин за допомогою заслінок; контроль за потраплянням нафти і газу із свердловини до компресора (для запобігання цього встановлюють зворотні клапани); контроль робочого тиску фонтанної арматури, що повинен відповідати максимальному тиску, який очікується на устя під час експлуатації свердловини.

### **Пожежна безпека насосних станцій**

Насосна станція – це складний виробничий комплекс, який складається з цеху перекачування, основного та допоміжного обладнання, розвинутої мережі трубопроводів та інженерних комунікацій, систем контрольно-вимірювальних приладів і автоматики, зв'язку, електрозабезпечення тощо. Загалом, під поняттям «насосна станція» вважають групу насосів з кількістю більше трьох, які віддалені один від одного на відстань до трьох метрів.

Насосні станції класифікують за такими ознаками:

- за призначенням – насосні складів нафти і нафтопродуктів, технологічні насосні;
- за технологічним тиском – високого і низького тиску;
- за типом нафтопродуктів, що перекачуються – світлі, темні;
- за типом будівлі – відкриті, закриті, заглиблені;
- за продуктивністю – низької, високої;
- за температурою перекачування – гарячі, холодні.

Насосні станції складів нафти і нафтопродуктів здебільшого є закритого типу, вони спеціалізовані – перекачують темні або світлі нафтопродукти, невеликі за розмірами і кількістю насосів, але насоси великої продуктивності,

зазвичай розташовуються окремо, робота насосів у таких станціях має періодичний характер, як правило вони є холодними – перекачують нафтопродукти з температурою до 250 °С.

Технологічні насосні станції є змішаного типу – в одній насосній можуть перекачуватися як темні, так і світлі нафтопродукти, вони у більшості є відкритого типу і можуть мати значні розміри, у таких станціях знаходиться велика кількість безперервно діючих насосів, технологічні насосні бувають холодними, гарячими і змішаного типу.

Безпосередній вплив на пожежну небезпеку насосних станцій має об'єм горючої рідини, що перекачується, а також тиск у трубопроводах, якими вона транспортується.

До відкритих насосних станцій належать насосні, які розташовуються на майданчиках під навісами чи етажерками і мають легкі бокові огороження.

У відкритих насосних станціях насоси розташовують одним або двома рядами. Відстань між рядами становить не менше 1,5 м (при дворядному розташуванні). До відкритих насосних станцій підводять допоміжні лінії, зокрема лінії охолоджувальної рідини з відповідною арматурою, дренажні трубопроводи, які обладнуються продувними вентилями і мають нахил не менше як 1:50 до дренажної системи. Для прогрівання та продування насосів і трубопроводів до майданчиків, на яких встановлено насоси, підводять водяну пару, стиснуте повітря або інертний газ, частіше за все – азот.

У закритих насосних станціях електродвигуни розташовують в одному приміщенні з насосами або відокремлено від насосної зали протипожежною перегородкою. Розташування насосного обладнання та обладнання інфраструктури (парова, азотна продувна, водяна лінія тощо) в закритих насосних станціях є таке ж як і у відкритих насосних станціях.

Заглиблені насосні розташовуються у заглиблених будівлях, мають меншу площу відкритих прорізів, більшу вогнестійкість, менші розміри.

Як зазначалось, насосні станції поділяють за температурою рідини, що перекачується. Насосні станції, що перекачують рідину з температурою менше 250 °С відносяться до холодних, а насосні станції з температурою рідин вище 250 °С – до гарячих. Гарячі насосні станції частіше є технологічними насосними, ніж насосними станціями СНН. Це пояснюється тим, що у насосних станціях складів нафти і нафтопродуктів підігрів рідин здійснюється у тих випадках, коли для зручності перекачування необхідно зменшити їх густину, а в технологічних насосних цього вимагає регламент виробництва.

Для запобігання витіканню в місцях виходу вала з корпусу насоса застосовують ущільнювальні пристрої – сальники з азбестовою, азбосвинцевою, азбоалюмінієвою та іншою набивкою, торцеві ущільнення. Сальникові ущільнення застосовують у нафтових насосах, а торцеві, які є більш надійними – для ущільнення насосів, що перекачують світлі нафтопродукти. Для зменшення гідростатичного тиску на сальник, що розміщений з боку нагнітання, застосовується розвантажувальний пристрій у вигляді лабіринтового ущільнення і відвідної трубки. Торцеві ущільнення



забезпечують герметизацію робочої порожнини насоса завдяки контакту плоских торців спеціальних кілець, що обертаються і утворюють пару тертя.

У насосах, що перекачують нафтопродукти з температурою спалаху вище 250 °С, для забезпечення герметичності, влаштовують подвійний корпус. Зовнішнім корпусом є герметичний міцний кожух, виготовлений з високолегованої сталі, який має фланцевий роз'єм у вертикальній площині. Внутрішній корпус – кований або литий і має горизонтальний роз'єм.

Для усунення розливу при витоках, в насосних станціях прокладено промислову каналізацію, що складається з приймальної посудини, приймальних отворів, лотків. Підлога в насосних станціях улаштована з нахилом до лотків. Для прибирання розливів нафтопродуктів, насосні станції обладнуються водяними стояками з гумовими шлангами, а також іншими засобами ліквідації витоків – піском, відрами, совками тощо.

Важливим засобом запобігання утворенню горючого середовища в закритих насосних станціях є витяжна вентиляція. Робота насосів заборонена, якщо вентиляція не працює, або пошкоджена. Для витяжної системи місцевої витяжки світлих нафтопродуктів, яку влаштовують поряд з місцями ущільнень, передбачено блокування електродвигунів вентиляторів з пусковими пристроями насосів. На випадок неконтрольованих витоків насосні станції обладнують додатковою автоматичною аварійною вентиляцією. Продуктивність її така, що разом з основною вентиляцією забезпечується не менше восьми повітрообмінів за годину по всьому внутрішньому об'єму приміщення. В системі аварійної вентиляції застосовується автоматичний контроль за станом повітря. У випадку реєстрації аварійної концентрації небезпечних речовин в насосній станції відключаються насосні агрегати, агрегати допоміжних систем, крім вентиляційної. Відключення здійснюється одночасно з перекриттям засувки на матеріальних лініях. Автоматично вмикається світлова та звукова сигналізація. Датчики газового контролю налаштовуються на чутливість від 5% до 50% нижчої межі вибухонебезпечної концентрації.

У насосних станціях відкритого типу наявність природної вентиляції значно зменшує ймовірність утворення вибухопожежонебезпечних пароповітряних сумішей і виключає потребу в улаштуванні штучної вентиляції. Але, з іншого боку, постійна наявність неупорядкованих, інтенсивних повітряних потоків і неможливість їх усунення у разі потреби, сприяє розвитку пожежі і, крім цього, унеможливорює або ускладнює застосування деяких способів гасіння (наприклад – об'ємного).

Найбільшу небезпеку створюють витікання, які відбуваються під час аварій, які виникли від механічних впливів, зокрема від дії вібрації і гідравлічних ударів. Виникненню вібрації запобігають правильним вибором насосів, їх регулюванням, балансуванням деталей, що обертаються, і влаштуванням надійного фундаменту. Для запобігання гідравлічним ударами кількість обертів відцентрових насосів і кількість ходів поршневих насосів змінюють повільно, на обв'язці насосів встановлюють перепускні та запобіжні клапани.

Для запобігання виникненню горючого середовища під час ремонтних робіт передбачається закриття засувки на матеріальних трубопроводах, зменшення тиску в насосі до атмосферного, звільнення насоса від горючої рідини, від'єднання насоса від діючих трубопроводів заглушками, промивання та пропарювання насоса. Тільки після цього його розбирають. Найбільш безпечним є централізований ремонт, коли пошкоджені насоси замінюють новими, а ремонт ведуть у спеціальних цехах.

Для обмеження кількості горючої рідини, що може вилитися з пошкодженого обладнання внаслідок аварії, на вводах трубопроводів до насосної станції встановлюють запірну арматуру з дистанційним приводом. На трубопроводах для легкозаймистих і горючих рідин, незалежно від температури і тиску середовища застосовується стальна запірні і регулююча арматура. Вузли засувки, як правило, розташовуються поза будівлею насосної станції на відстані 3 м – від стін з прорізами; 1 м – від стін будівлі без прорізів; 5 м – від межі майданчика насосної станції (відкритої або під навісом).

Вузли засувки розташовують в одному приміщенні з насосами, якщо кількість основних робочих насосів (не рахуючи резервних вакуумних насосів для зачищення та інших допоміжних насосів) в цьому приміщенні становить:

- на складах нафти і нафтопродуктів I та II категорій – не більше 6 насосів для рідин з температурою спалаху 120 °С і нижче (крім мазутів) або не більше 10 насосів для рідин з температурою спалаху вище 120 °С і для мазутів;
- на складах III категорії – не більше 10 насосів для рідин з температурою спалаху 120 °С і нижче ти при будь-якій кількості насосів для рідин з температурою спалаху вище 120 °С;
- при перекачуванні мазутів, що підігріваються до температури на 10°С нижчої за температуру спалаху – не більше 6 на складах I та II категорії і не більше 10 на складах III категорії.

В місцях розташування вузлів засувки в підлозі передбачається лоток для збирання стоків до приямку, глибина якого повинна бути не більшою 0,5 м.

Кожне відділення закритої насосної станції проєктують довжиною не більше 90 м. При більшій довжині насосні станції поділяють на відсіки протипожежними стінами з межею вогнестійкості не менше 1,5 год.

Якщо насоси розташовують під етажерками, то необхідно передбачити можливість дистанційної зупинки насосів від кнопочних постів управління, які встановлені в безпечних місцях – в таких, де у випадку аварійної ситуації вплив небезпечних факторів пожежі не становитиме небезпеки для операторів.

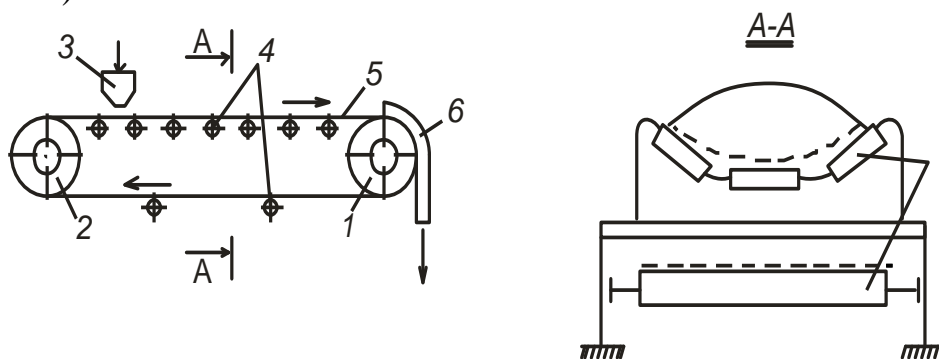
### **8.3. Пожежна безпека процесів транспортування сипких горючих матеріалів**

У багатьох галузях промисловості та сільського господарства для безперервного переміщення подрібнених матеріалів використовують механічні транспортери і пневмотранспорт. Таким способом транспортують пил та гранули синтетичних смол та пластмас на хімічних підприємствах, деревні тирсу та пил у виробництві ДСП, пил кам'яного вугілля на теплових

електростанціях, цукрову пудру, борошно, крупу у харчовій промисловості, добрива, корми, тютюн тощо. Для проведення таких операцій використовують різноманітні технічні засоби.

**Механічні транспортери** – це пристрої для безперервного переміщення твердих матеріалів в одному напрямку. Вони поділяються на стрічкові (найбільш розповсюджені), скребкові, ковшові, гвинтові (шнеки), вібраційні.

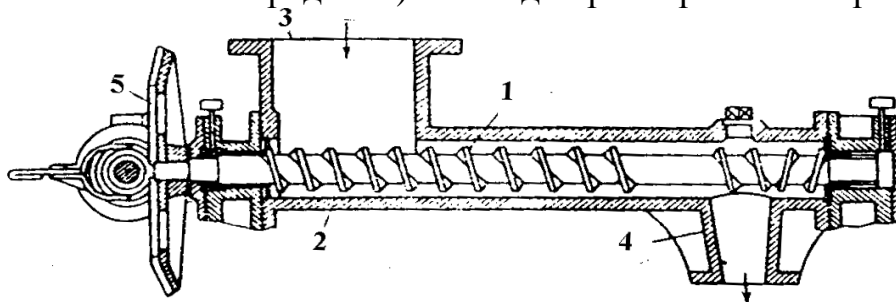
Стрічкові транспортери складаються з несучої рами, валків і транспортерної стрічки (рис. 8.6). Стрічки складаються з декількох шарів сталюого корду, який просочується гумою, спресовується і вулканізується. Це забезпечує високу міцність стрічки. Транспортери бувають з плоскою стрічкою і у вигляді жолобчастого стрічкового транспортера з триланковими роликками (під кутом  $30^\circ$ ).



**Рисунок 8.6** – Схема стрічкового транспортера:

1 – ведучий барабан; 2 – ведений барабан; 3 – завантажувальний пристрій; 4 – опорні роликки; 5 – стрічка; 6 – розвантажувальний пристрій; 7 – матеріал, що транспортується

**Гвинтові транспортери (шнеки)** складаються з обертового транспортувального гвинта, який встановлено в нерухомий жолоб (рис.8.7). Транспортування здійснюється обертанням гвинта. Вали мають довжину до 60 м. Шнекові транспортери виготовляють закритими (шнек у трубі) і відкритими (шнек у лотку). Закриті шнеки мають такий недолік, що при заклиненні шнека (при потраплянні великого предмета) необхідно розбирати весь транспортер.



**Рисунок 8.7** – Схема шнекового транспортера:

1 – гвинт; 2 – корпус; 3 – завантажувальна воронка; 4 – патрубок для відвідної труби; 5 – зубчаста передача

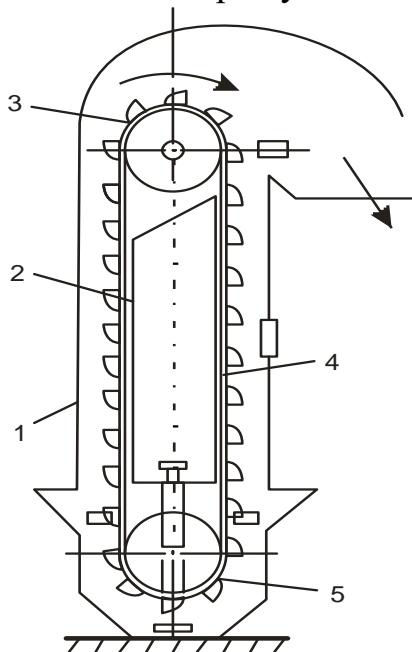
**Ковшові елеватори** – ряд ковшів закріплених на замкнутому ланцюгу або стрічці. За розташуванням їх поділяють на горизонтальні, похилі, вертикальні (елеватори, норії).

Складається із станини, на якій монтується барабан, і роликів. Навколо барабанів рухається безперервна стрічка, яка підтримується роликами. Стрічка приводиться в рух ведучим барабаном з електродвигуном через редуктор. Транспортну стрічку виготовляють з прогумованої тканини.

При транспортуванні на великі відстані влаштовують послідовний ряд транспортерів з пересипанням матеріалу з одного на інший. Довжина транспортера не повинна перевищувати 200 м, ширина – 1,4 м, швидкість руху стрічки – 0,5...2 м/с.

Вертикальний транспортер (елеватор) – це безкінечна стрічка чи ланцюг, на яких закріплені ковші (рис.8.8). Весь пристрій поміщено в кожух. Елеватори застосовують для піднімання матеріалу на висоту до 40 м зі швидкістю руху стрічки до 1,5 м/с.

У верхній частині знаходиться приймальний жолоб, куди висипається матеріал із ковшів при переході стрічки через ведучий барабан, а в нижній частині (“башмак”) – завантаження матеріалу.



**Рисунок 8.8** – Схема норії:

1 – кожух; 2 – ланцюг або стрічка; 3 – приводний барабан або ланцюговий блок; 4 – ковші;  
5 – натяжний барабан або ланцюговий блок

Норії (вертикальні ковшові транспортери) призначені для вертикального транспортування сипких матеріалів. Для транспортування легких матеріалів (тирса, зерно) використовують стрічкові норії – транспортери, у яких робочим органом є гнучка транспортна стрічка з закріпленими на ній ковшами. Для транспортування важких матеріалів (вугілля) використовують ланцюгові норії. В ланцюгових норіях робочим органом є ланцюг з закріпленими на ньому ковшами.

Транспортери розташовуються в приміщеннях, галереях, шахтах, під навісами чи на відкритих майданчиках.

Недоліком транспортерів є наявність деяких втрат через просипання та неможливість транспортування дрібного пилю.

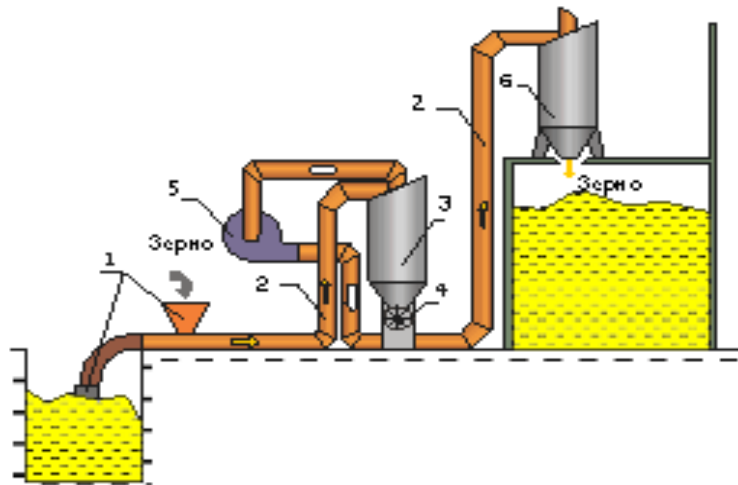
Більш прогресивним способом транспортування є пневмотранспорт. Питома витрата енергії у механічних транспортерах – 3 кВт год/т, у пневмотранспорті 0,45 кВт год/т.

**Пневматичний транспорт** (з грецьк. *πνευματικός* – повітряний) – стаціонарне або пересувне устаткування для переміщення по трубопроводах енергією повітря чи газу деяких сипких матеріалів і штучних вантажів.

Використовується для транспортування подрібненого порошкоподібного вугілля, відходів деревини, зернопродуктів.

Установки пневмотранспорту складаються з завантажувального пристрою, транспортного трубопроводу, контрольно-виміральної апаратури, відокремлювачів матеріалу від повітря з пиловловлювачами, компресорного або іншого устаткування та приладів автоматичного керування.

Концентрація матеріалу в суміші з повітрям перебуває в межах 1...35 кг на 1 кг повітря. Швидкість газу має бути вищою за швидкість осадження частинок матеріалу ( $w=8...35$  м/с), її встановлюють залежно від концентрації матеріалу в суміші з повітрям  $\mu : \mu = G_m / G_z$ .



**Рисунок 8.9** – Схема пневматичного транспорту:

1 – бункер ; 2 – пневмопровід; 3 – циклон; 4 – шлюзовий затвор; 5 – вентилятор;  
6 – пиловловлювач

Пневмотранспорт може працювати за принципом всмоктування та нагнітання. Рух робочого газу забезпечується вентилятором, вакуум-насосом чи компресором.

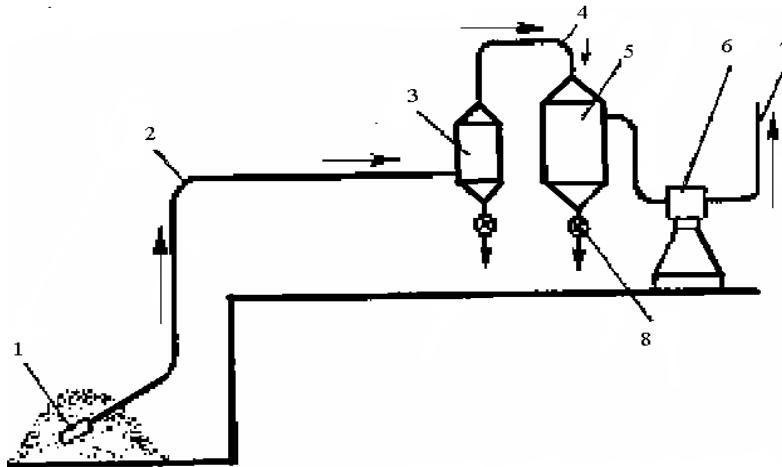
Пневмотранспорт може бути вакуумним (втягувальної дії), тисковим (нагнітальної дії), змішаним (комбінований).

Вакуумні установки працюють під розрідженням, тискові – під тиском, що перевищує атмосферний (до 0,8 МПа). За надлишковим тиском чи розрідженням установки пневмотранспорту поділяються на високонапірні, середньонапірні і низьконапірні. У високонапірних установках в якості нагнітачів повітря використовують компресори, в середньонапірних – повітродувки, в низьконапірних – вентилятори. За об'ємною концентрацією твердої фази пневмотранспорт умовно поділяють на установки низької концентрації фази (до  $0,04 \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$ ), середньої ( $0,05...0,15 \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$ ) і високої (більше  $0,15 \text{ м}^3 \cdot \text{м}^{-3}$ ).

В промисловості використовуються пневмотранспортні системи відкритого і закритого типу. В установках відкритого типу повітря втягується з атмосфери і після використання для переміщення матеріалу викидається в атмосферу. В установках закритого типу повітря чи інший транспортувальний агент безперервно циркулює в системі.

В установках пневмотранспорту переміщення матеріалу можливе в горизонтальному чи вертикальному напрямках, а також під будь-яким нахилом.

Типова установка вакуумного пневмотранспорту (рис. 8.10) складається з постачального бункера, пневмопровода, циклона з вентилятором, розвантажувального шнека, самопливної труби, приймального апарата або бункера.

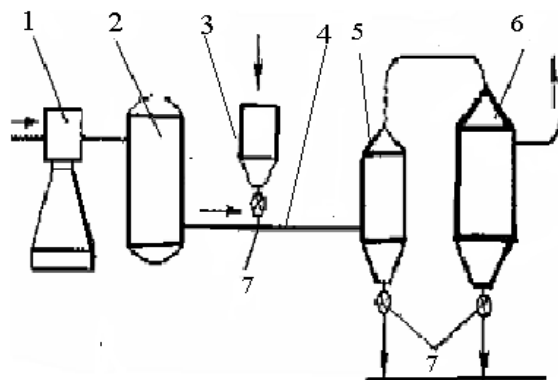


**Рисунок 8.10** – Схема вакуумного пневмотранспорту:

1 – матеріал; 2, 4, 7 – трубопроводи; 3 – циклон; 5 – пиловловлювач; 6 – компресор;  
8 – шлюзовий затвор

При роботі вентилятор утворює в пневмопроводі розрідження завдяки якому сипка речовина всмоктується з постачального бункера і пересувається пневмопроводом. Недоліком такої установки є обмеженість відстані транспортування.

В тисковому пневмотранспорті (рис. 8.11) речовина пересувається завдяки тиску, який створює окремий вентилятор. Це значно збільшує відстань транспортування. Недоліком такої системи є можливість заклинювання вентилятора при потраплянні великих частинок, можливість видування пилу крізь нещільності.



**Рисунок 8.11** – Схема тискового пневмотранспорту:

1 – компресор; 2 – ресивер повітря; 3 – бункер; 4 – трубопровід; 5 – циклон; 6 – пиловловлювач; 7 – шлюзовий затвор.

У порівнянні з іншими видами виробничого транспорту, пневмотранспортна система має такі переваги, як герметичність транспортних шляхів, можливість пристосування їх до різних виробничих умов, можливість використання пневмоустановок для сушіння, нагрівання чи охолодження матеріалу при його транспортуванні, можливість монтажу трубопроводів довільної конфігурації. Установки пневмотранспорту використовуються для завантаження бункерів, переміщення матеріалу зі складів у виробничі цехи чи між цехами, розвантаження і завантаження вагонів, суден, автомобілів, закладення виробничого простору шахт породою, вилучення відходів золи, тирси.

Простота конструкції пневмотранспортних установок, невисокі затрати на виготовлення та експлуатацію, надійність в роботі і висока продуктивність забезпечили їх широке використання в промисловості. Однак при переміщенні горючих дисперсних матеріалів необхідно дотримуватись заходів, що забезпечують їх вибухопожежобезпеку.

### **Пожежна безпека процесів транспортування сипких горючих матеріалів**

Пневмопроводи та самопливні трубопроводи для транспортування горючих сипких матеріалів виготовляють з негорючих матеріалів. Конструкція трубопроводів повинна бути такою, щоб не затримувався пил, зокрема, не повинно бути горизонтальних ділянок, тупиків, розгалуження виконуються плавними.

Пуск навантажених механічних транспортерів і пневмотранспортних пристроїв необхідно здійснювати лише після ретельної перевірки їх стану на холостому ході, відсутності в них сторонніх предметів, наявності мастила в підшипниках, а також при справній роботі захисних пристроїв.

При виникненні пожежі чи при аварійній ситуації у транспортних системах забезпечують можливість швидкого припинення подачі матеріалу на транспортер – з допомогою спеціальних вимикачів, що знаходяться на кожному поверсі біля сходових кліток, зупиняють роботу технологічного обладнання цеху і, в першу чергу, аспіраційну і вентиляційну системи.

Здійснюється автоблокування електродвигунів технологічного обладнання з електродвигунами транспортних механізмів – при раптовій зупинці транспортера автоматично зупиняються електродвигуни машин, з яких продукт надходить у пневмотранспортну мережу. Автоматичне блокування перевіряють при пуску обладнання.

Для зменшення запиленості приміщень при переміщенні порошкоподібних матеріалів механічними транспортерами використовують закриті транспортери з витяжкою запиленого повітря з-під укриттів, контролюють справність і герметичність цих укриттів, ефективність витяжки пилу з-під них. Будівельні конструкції та обладнання періодично очищають від відкладень пилу. Герметизують місця пересипання матеріалів з влаштуванням місцевої витяжної вентиляції. Зменшення запиленості досягається і шляхом зволоження матеріалів, якщо це допускається за умовами технології. Для запобігання надходженню пилу в приміщення з пневмотранспорту влаштовують такі системи, що працюють під вакуумом, здійснюють правильний вибір вентиляторів чи компресорів.

Рециркуляційні системи використовують лише для грубоподрібнених матеріалів (тирси, стружки). Якщо не можливо уникнути утворення горючого середовища всередині пневмотранспортної системи в нормальних умовах роботи шляхом вибору співвідношення між масою горючого матеріалу і повітря, то в якості робочого агента використовують інертний газ. Для транспортування матеріалів, пил яких самозаймається, використовують також інертний газ.

Можливими джерелами запалювання в системах пневмотранспорту є розряди статичної електрики, іскри удару і тертя, самозаймання відкладень пилу. Частинки дисперсних матеріалів контактуючи зі стінками трубопроводів, заряджають їх і самі дістають електричний заряд. Нагромадження зарядів у хмарі пилу може призвести до розряду на стінку чи інший конструктивний елемент пневмотранспортної установки. Захисту від розрядів статичної електрики досягають заземленням всіх металічних конструкцій систем транспортування, підвищенням відносної вологості, іонізацією атмосфери.

Трубопроводи пневмотранспорту та аспіраційні лінії обладнують автоматичними швидкодіючими заслінками проти поширення пожежі. Для захисту від руйнування при вибуху трубопроводи і апарати системи пневмотранспорту (бункери, циклони, фільтри) захищають вибуховими мембранами. Циклони для відокремлення і збору пилу за можливістю розташовують зовні будівлі у таких місцях, де їх руйнування не призведе до руйнування будівель і не створюватиме загрози для життя людей. На самопливних трубах розташовують сухі затвори проти поширення вибухів. На вході в пневмопровід повинні бути сітки або магнітні чи гравітаційні вловлювачі.

Захистом від виникнення займання через тертя стрічки і барабана є запобігання заклиненню стрічки (уникнення перекосів, перевантажень, завалів), автоблокування електродвигунів послідовно працюючих транспортерів при їх аварійній зупинці у випадку перевантаження чи завалу, застосування пристроїв, що контролюють температуру барабана, охолоджують його і зупиняють при аварійній ситуації. При роботі норії не допускають буксування стрічки, її тертя і торкання ковшів об стінки кожуха. Систематично контролюють і регулюють натяг ланцюга (стрічки), стан підвіски ковшів, стан самого кожуха. Підшипники утримують у справному стані, своєчасно їх змащують, систематично контролюють температуру нагрівання, запиленість.

Щоб запобігти самозайманню матеріалу, що нагромадився в башмаку елеватора, потрібно правильно вибирати розміри кожуха і відстань між днищем кожуха і ковшами, що рухаються. На випадок самозаймання у небезпечних місцях (нижній башмак норії, засувки, горизонтальні ділянки тощо) передбачають підведення води чи пари для його гасіння. Використовують автоматичні системи, які виявляють розжарені частинки на стрічці транспортера і вмикають водяне зрошення небезпечної ділянки.

Технологічні прорізи в протипожежних стінах і перекриттях цехів для проходження транспортерів з горючими матеріалами обладнують автоматичними чи ручними засувками, водяними чи пінними дренчерними пристроями, систематично перевіряють стан цих пристроїв.



Межа вогнестійкості клапанів для захисту технологічних прорізів залежить від межі вогнестійкості протипожежної перешкоди, зокрема, в стінах з межею вогнестійкості 2,5 год – 1,2 год; в перегородках з межею вогнестійкості 0,75 год – 0,6 год; в перегородках з межею вогнестійкості 0,25 год – 0,25 год. Місця перетинання трубопроводами перекриттів повинні ущільнюватись негорючими матеріалами на всю їх товщину.

У транспортних системах необхідно забезпечити рівномірне завантаження стрічки транспортера і ковшів елеватора. Як захист від перевантаження використовують теплові електричні автомати, пружинні муфти або обмежувачі насипання. Для уникнення завалів матеріалу, що транспортується, здійснюють автоблокування для аварійної зупинки транспортерів або пневмотранспорту. Робота сумісних транспортерів також повинна блокуватися, щоб уникнути утворення завалів.

Під час експлуатації пневмотранспортних і самопливних ліній необхідно контролювати рух продукту в трубах.

Під час роботи норій не можна допускати тертя стрічок і дотикання ковшів до стінок кожуха. Необхідно стежити за тим, щоб ролики транспортерів і натяжні барабани вільно оберталися. Не допускається буксування стрічки. Щоб уникнути можливого загоряння стрічки при буксуванні, збіганні убік, а також при поломці окремих деталей і завалів продукту, необхідно негайно зупинити транспортер. Щоб уникнути ковзання стрічки не допускається змащувати приводні барабани бітумом, каніфоллю і іншими горючими пастами. Для усунення ковзання стрічку підтягають або перешивають.

При експлуатації гвинтових транспортерів необхідно стежити за тим, щоб гвинт у жолобі не торкався при роботі стінок, працював без стуку.

#### **8.4. Пожежна безпека технологічних трубопроводів та арматури**

Трубопроводи призначені для транспортування газів, рідин, сипких матеріалів. Технологічні трубопроводи класифікують за видом речовин, що транспортуються, за робочими умовами, за конструкцією та матеріалом тощо.

Залежно від виду матеріалів, що транспортуються, трубопроводи поділяють на п'ять груп.

Група А – трубопроводи для токсичних продуктів та горючих газів.

Група Б – трубопроводи для вибухонебезпечних газів, а також для легкозаймистих та горючих рідин, зокрема нафтових.

Група В – трубопроводи для перегрітої водяної пари.

Група Г – трубопроводи для гарячої води та насиченої водяної пари.

Група Д – трубопроводи для негорючих газів, рідин та парів.

Залежно від робочих умов (температури та тиску) всі технологічні трубопроводи поділяють на п'ять категорій (I..V). Чим вищі робочі температури та тиск, тим нижчий порядковий номер категорії трубопроводу. Належність трубопроводу до тієї чи іншої категорії та групи накладає певні вимоги до його виготовлення, якості матеріалу, а також до виконання робіт з монтажу, експлуатації та випробувань цього трубопроводу.

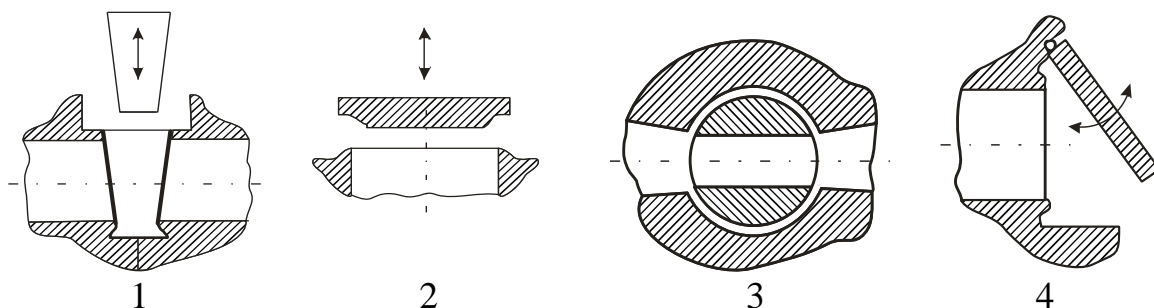
Асортимент трубопроводів надзвичайно широкий – це трубопроводи з різними діаметрами та товщиною стінок, крім того технологічні трубопроводи можуть бути виконані як з металів (сталь, чавун, кольорові метали та сплави), так і з неметалів (пластмаса, азбестобетон тощо).

Арматура – це спеціальний вид обладнання, що призначений для переключення потоків рідини, газів або парів, які транспортуються трубопроводами. Залежно від призначення арматуру поділяють на такі групи:

- запірна – призначена для повного або часткового перекривання потоку речовини;
- запобіжна – забезпечує частковий випуск середовища при підвищенні тиску вище допустимого;
- регулююча – застосовується для автоматичного регулювання технологічних параметрів процесу.

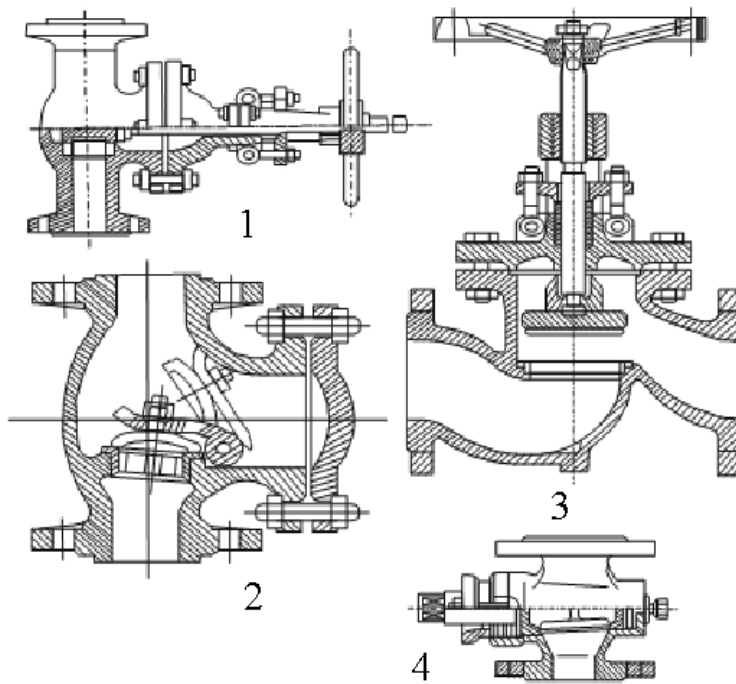
До запірної арматури належать засувки, вентилялі та крани; до запобіжної – зворотні та запобіжні клапани; до регулювальної – регулювальні клапани, призначені для підтримання параметрів технологічних процесів (тиску, витрати тощо) у заданих межах.

Засувки – вид арматури, в якій запірний орган (клин) переміщається перпендикулярно до осі проходу речовин. У вентилях запірний орган (тарілка, диск, голка) переміщається вздовж осі сідла, як правило, у вертикальній площині. Потік речовини засувками або вентилями перекривається опусканням запірного органа у відповідної форми сідло, поверхня якого тонко оброблена і підігнана до запірного органа. Крани складаються з конічної, циліндричної або кульової пробки, підігнаної до відповідного гнізда у корпусі. Пробка має наскрізний отвір. Відкривання або перекривання потоку речовини краном здійснюється завдяки сполученню цього отвору з отвором у корпусі крана. зворотні клапани призначені для самодіючого перекривання трубопроводу при русі потоку речовини в зворотному напрямку. Запірний диск поворотного зворотного клапана підвішений до осі, перпендикулярної до проходу потоку речовини. При зміні напрямку речовини клапан під власною вагою та під тиском речовини опускається ущільнювальною поверхнею на сідло корпусу і перекриває потік. На рис. 8.12 показані принципи переміщення запірних органів, а на рис. 8.13 – конструкція основних типів арматури.



**Рисунок 8.12** – Переміщення запірного органа в арматурі:

1 – в засувці; 2 – у вентилі; 3 – в крані; 4 – в зворотному клапані



**Рисунок 8.13** – Трубопровідна арматура:

1 – стальна клинова засувка; 2 – зворотний поворотний клапан; 3 – вентиль;  
4 – натяжний кран

### **Протипожежний захист технологічних трубопроводів**

Виготовлення, монтаж і експлуатація трубопроводів та арматури для горючих і вибухонебезпечних продуктів здійснюються з врахуванням хімічних властивостей і технологічних параметрів середовищ, що транспортуються, а також вимог чинних нормативно-технічних документів.

Трубопроводи для скраплених горючих газів, а також всі газопроводи високого тиску виготовляють з безшовних труб. При діаметрі більше 400 мм допускається використання зварних труб, які виготовлені за спеціальними технічними умовами.

У випадку виникнення аварії чи пожежі важливе значення має можливість швидкого переключення арматури. Тому у виробничих цехах і на окремих установках повинна знаходитися схема трубопроводів з вказівкою розташування засувок, якими відключають подачу продукту у випадку аварії чи пожежі. Послідовність переключень вказують у плані ліквідації аварійних ситуацій на виробництві.

Для безпечної експлуатації трубопроводів необхідно враховувати вплив корозії. Продукти, що транспортуються, за ступенем агресивності до вуглецевої сталі поділяють на неагресивні і малоагресивні (швидкість корозії до 0,1 мм на рік), середньоагресивні (швидкість корозії 0,5 мм в рік) і високоагресивні (швидкість корозії до 0,1 мм в рік). Для високоагресивних і середньоагресивних середовищ, а також для середовищ з температурою більше 450°C використовують труби з легованих сталей чи сталіні вуглецеві труби з внутрішнім захисним покриттям.

При транспортуванні високоагресивних і середньоагресивних середовищ застосовують керамічні, скляні, пластмасові трубопроводи, які, однак, швидко втрачають міцність і руйнуються від нагрівання при пожежі. Тому трубопроводи з кераміки, скла і пластичних мас без спеціального обґрунтування не дозволяється використовувати для транспортування горючих рідин, стиснених і скраплених газів.

В місцях проходження трубопроводів через глухі стіни отвори повинні бути герметично закладені.

При прокладанні міжцехових трубопроводів з горючими рідинами і газами в каналах і траншеях (відкритих і закритих) в місцях переходу траншей і каналів з одного приміщення в інше через протипожежну стіну повинні бути справні газонепроникні перемички (діафрагми) з негорючих матеріалів.

Щоб уникнути утворення корків в зовнішніх трубопроводах, якими транспортуються в'язкі горючі продукти (з температурою застигання близькою до нуля і вище), необхідно постійно контролювати обігрів цих трубопроводів і арматури, а також справність їх теплоізоляції.

У закритих лотках і тунелях, де є трубопроводи з вибухопожежонебезпечними речовинами, в місцях найбільш ймовірного нагромадження горючих парів і газів необхідно встановлювати газоаналізатори, що автоматично сигналізують про виникнення небезпечних концентрацій.

Не допускається застосовувати заглушки для відключення трубопроводу, який зупиняють на тривалий час, від іншого трубопроводу, що перебуває під тиском. У таких випадках необхідно передбачати знімну ділянку трубопроводу, а на кінцях діючих трубопроводів встановлювати заглушки.

Встановлення і зняття заглушок на лініях з вибухопожежонебезпечними речовинами необхідно зазначати в журналі за підписом особи, що встановила або зняла заглушку. Всі заглушки повинні бути пронумеровані і розраховані на необхідний тиск.

Встановлення запірної арматури з механізованим приводом обов'язкове на трубопроводі з умовним проходом більше 400 мм. У деяких випадках на трубопроводах встановлюють клапани-відсікачі чи зворотні клапани.

Пробні і робочі (розрахункові) тиски для технологічних трубопроводів встановлюють залежно від робочої температури речовин, що транспортуються і від матеріалу трубопроводу. На трубопроводах для рідких продуктів з температурою нагрівання вище 220 °С, на трубопроводах для скраплених газів і бензинів, на трубопроводах, які піддаються вібрації чи охолодженню, арматура повинна бути сталлюю. На трубопроводах, що працюють при температурі нижче -40°С, необхідно використовувати арматуру, яка виготовлена з легованих сталей, що мають при від'ємних температурах ударну в'язкість металу не меншу за 0,2 МПа.

Фланцеві з'єднання – найбільш слабка ланка в трубопровідних комунікаціях. Саме на них найчастіше відбувається витікання горючих речовин через порушення герметичності чи повне руйнування фланців. Тому необхідно якомога менше використовувати фланцеві з'єднання. Трубопроводи, що транспортують горючі гази, легкозаймісті та горючі рідини, вакуумні

трубопроводи рекомендується проєктувати нероз'ємними. Фланцеві з'єднання встановлюють тільки в місцях встановлення арматури і приєднання до трубопроводів, а також на трубопроводах, що потребують періодичної розбирання з метою очищення чи заміни ділянок труб без застосування зварювальних робіт.

Конструкцію фланців на трубопроводах вибирають залежно від робочого тиску, температури і агресивності середовища. Для трубопроводів, що працюють при умовному тиску понад 2,5 МПа, та для трубопроводів, що працюють при температурі середовища вищій за 300°C, необхідно використовувати тільки приварні фланці.

У фланцевих з'єднаннях трубопроводів з нагрітими продуктами температура болта (шпильки), як правило, менша за температуру фланця, оскільки тепло болта передається в основному через поверхню дотикання гайки і головки з фланцем, а сам болт ізольований від фланця повітряним зазором. Через різницю температур виникають температурні напруження в болтах, що можуть призвести до розриву і порушення герметичності фланцевого з'єднання. Їх враховують коли температура середовища у трубопроводі вища за 250 °С.

Матеріали для ущільнювальних прокладок обирають залежно від робочих параметрів і ступеня агресивності речовин, які транспортуються. При умовному тиску нижчому за 4,0 МПа можна застосовувати м'які прокладки (картон, пароніт, гуму, пластифікат, фібру); металічні гофровані прокладки, металічні плоскі прокладки. При умовному тиску 6,4 і 10 МПа використовують сталіні гофровані прокладки з м'якою набивкою, сталіні прокладки овального перерізу.

Щоб у разі пожежі обмежити поширення вогню в каналах і відкритих траншеях з горючим середовищем, необхідно спорудити через кожні 80 м гравійні перемички довжиною не менше 4 м з нахилом до спеціальних колодязів, які приєднуються через гідравлічний затвор до промислової каналізації. У вибухонебезпечних приміщеннях непрохідні канали після прокладання в них трубопроводів повинні бути повністю засипані піском. Якщо за умовами виробництва канали в приміщенні не можуть бути засипані повністю, їх необхідно розділити глухими перемичками (діафрагмами) з негорючих матеріалів в місцях введів у будівлі і в місцях переходу каналів з одного ізольованого приміщення в інше.

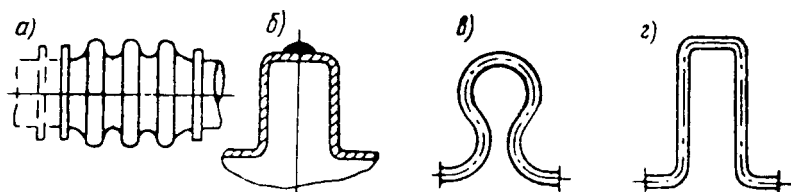
Підземне прокладання напірних трубопроводів безпосередньо в ґрунті не створює підвищеної небезпеки поширення вогню по трубопровідних комунікаціях, але ускладнює контроль за станом і технічне обслуговування трубопроводів. Трубопроводи в ґрунті піддаються сильній корозії, що може призвести до пошкодження. Надійним захистом підземних трубопроводів від корозії є катодний захист.

Найбільш раціональним є прокладання трубопроводів на естакадах, особливо при великій кількості транспортних і інженерних комунікацій. При багатоярусному розташуванні трубопроводів у верхньому ярусі естакад чи опор розташовують трубопроводи великих діаметрів, що транспортують горючі і

інертні гази, а також пару. Нижче розташовують трубопроводи з легкозаймистими і горючими рідинами, а на найнижчому ярусі – трубопроводи з агресивними і високов'язкими продуктами. Влаштування трубопроводів на низьких опорах не допускається в тих випадках, якщо вони можуть завадити пересуванню пожежної і аварійної техніки.

Для зменшення небезпечної вібрації трубопроводів, зумовленої пульсацією тиску рідини і газу, передбачають ряд заходів, зокрема, гасіння пульсації безпосередньо в системі шляхом встановлення буферних і акустичних посудин безпосередньо біля джерела пульсуючого тиску чи на деякій відстані від нього; мінімальну кількість поворотів з максимально можливим радіусом повороту. Трубопроводи, що прилягають до машини, яка вібрує, не повинні мати жорсткого кріплення до конструкцій будівлі.

Для підтримання заданої температури, запобігання опікам обслуговуючого персоналу, а також для забезпечення температури на зовнішній поверхні нижче температури самозаймання продуктів, трубопроводи тепло ізолюють. Для компенсації температурних деформацій використовується самокомпенсація завдяки поворотам і вигинам траси. За неможливості чи недостатньої самокомпенсації використовують гнуті, лінзові, хвилясті компенсатори чи рухомі опори. Температурні компенсатори, які встановлюють на трубопроводах, та їх загальний вигляд показані на рисунках 8.14, 8.15.



**Рисунок 8.14** – Температурні компенсатори на трубопроводах:  
 а – вигляд компенсатора з трьома лінзами; б – розріз однієї лінзи; в – ліроподібна лінза;  
 г – лінза у вигляді петлі

Компенсувальна здатність вигнутих компенсаторів визначається за формулою:

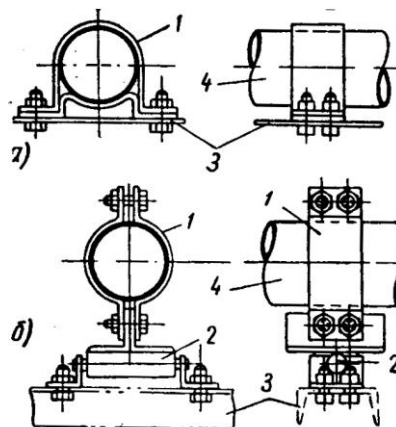
$$h = \sqrt{180 \Delta t} D_H,$$

де  $h$  – висота компенсатора, м;  $D_H$  – зовнішній діаметр труби, м;  $\Delta t$  – зміна довжини трубопроводу між нерухомими опорами при зміні температури на  $\Delta t$  °С. Компенсувальна здатність лінзових компенсаторів при одній хвилі – 10 мм, при двох хвилях – 25 мм і при трьох хвилях – 45 мм.



**Рисунок 8.15** – Загальний вигляд компенсатора

Для компенсації температурних деформацій використовують рухомі опори при кріпленні трубопроводів (рис. 8.16).



**Рисунок 8.16** – Кріплення трубопроводів:

а – нерухома опора; б – рухома опора; 1 – хомути; 2 – ролики; 3 – фундамент; 4 – труба

З газів, які транспортуються, в результаті охолодження можуть випадати сконденсовані рідкі продукти і волога. Нагромадження конденсату в найнижчих точках частково чи повністю закупорює трубопровід, порушує чи зупиняє потік газу. При від’ємних температурах можливе замерзання конденсату і руйнування трубопроводу. небезпека випадання, нагромадження і замерзання конденсату особливо значна в періодично діючих трубопроводах, наприклад, в технологічних лініях «газ на факел» і у газоурівнювальних обв’язках резервуарних парків.

На газопроводах, де можливе нагромадження конденсату, в найнижчих точках обладнують дренажні пристрої, які за необхідності повинні бути надійно захищені від замерзання тепловою ізоляцією та обігрівом. В трубопроводах з горючими рідинами, навпаки, можливе утворення газових корків. Для випуску у повітря газу, що нагромадився у верхніх точках трубопроводів горючих рідин, за винятком токсичних продуктів і скраплених газів, слід передбачити продувні трубки з запірною арматурою чи з’ємними заглушками.

У всіх нижчих точках трубопроводів горючих рідин передбачають спускні штуцери, які, як правило, використовують для спорожнення трубопроводів перед ремонтом. Після ремонту перед заповненням трубопроводу горючими продуктами необхідно перевірити, чи закриті спускні штуцери.

Для трубопроводів, що транспортують горючі речовини, слід передбачити можливість їх продування інертним газом чи паром при зупинці на ремонт. Під’єднання інертного газу чи пари до продувних штуцерів здійснюють з допомогою розбірних трубопроводів чи гнучких шлангів. Продування слід здійснювати в атмосферу через спеціальні продувні свічі з пристроями для відбору проб, що закриваються автоматично.

У вибухопожежебезпечних технологічних системах, у яких при відхиленнях від регламентованих параметрів можливий детонаційний вибух в трубопроводах, необхідно вживати заходів для запобігання детонаційним

явищам і запобігання поширенню вибуху в апарати, зв'язані цими трубопроводами.

При транспортуванні по трубопроводах речовин і сумішей, що займаються від контакту з водою і водними розчинами, слід забезпечити ретельне осушення комунікацій від вологи після ремонту.

Для зменшення можливості детонаційного розкладу ацетилену потрібно стежити, щоб діаметри ацетиленових трубопроводів і швидкість руху газу по них не перевищувала встановлених проєктних величин. За необхідності використання трубопроводу більшого перерізу (при більшій витраті ацетилену) слід використовувати паралельні вітки.

Розташування вогнеперешкоджувачів, їх типи, розміри і висота вогнегасильної насадки, а також швидкість руху ацетилену у вогнеперешкоджувачі і його гідравлічний опір повинні відповідати проєкту і технологічній інструкції.

Захисні розривні мембрани на ацетиленових трубопроводах повинні бути справними. Місце розташування розривних мембран, їх матеріал, діаметр і товщина повинні відповідати даним проєкту.

Ацетиленопроводи слід систематично, у встановлені інструкцією терміни очищати від кристалогідратів, полімерних і інших відкладень.

Необхідно оберегати трубопроводи з ацетиленом від дії джерел тепла, стежити за справністю наявної теплоізоляції; при виникненні пожежі вжити заходів для охолодження водою незахищених теплоізоляційних ділянок трубопроводів, що потрапили під дію високої температури.

Слід постійно контролювати справність і чистоту теплоізоляції на гарячих трубопроводах. Не допускається експлуатувати гарячі трубопроводи з пошкодженою теплоізоляцією і при попаданні на неї горючих рідин.

В технологічних системах для запобігання аваріям, їх розвитку необхідно використовувати протиаварійні пристрої: запірну, запірно-регульовальну арматуру, клапани, відсікачі та інші від'єднувальні пристрої, запобіжні пристрої від підвищеного тиску, засоби придушення і локалізації полум'я, автоматичні системи придушення вибуху.

### **Запитання та завдання для самоконтролю**

1. Назвіть способи транспортування газів, рідин та твердих речовин.
2. У якому випадку в самопливних трубопроводах виникає вибухонебезпечне середовище?
3. Заходи пожежної безпеки при транспортуванні методом перетиснення.
4. Завдяки чому відбувається піднімання рідини при транспортуванні методом ерліфту (газліфту) ?
5. Класифікація насосів. Які з них найбільш доцільно використовувати для транспортування горючих рідин?
6. Як забезпечити герметизацію вала робочого колеса відцентрового насоса?



7. Як обчислити кількість рідини, що витікає через сальник відцентрового насоса?
8. Заходи пожежної профілактики при експлуатації насосів, які перекачують горючі рідини.
9. Сформулюйте визначення термінів «подача» і «напір» насоса.
10. Як впливає температура рідини, що перекачується, на допустиму висоту всмоктування?
11. Насоси яких типів забезпечують: а) високі подачі, б) високі напори?
12. Які насоси використовують для перекачування високов'язких рідин?
13. Назвіть способи збільшення рівномірності подачі поршневих насосів.
14. Охарактеризуйте типи компресорних машин (залежно від ступеня стиснення та принципу дії).
15. Назвіть вимоги до об'ємно-планувальних рішень насосних станцій.
16. Чим зумовлена пожежна небезпека компресорів? Заходи пожежної профілактики для безпечної експлуатації компресорів.
17. Які заходи пожежної профілактики передбачені при експлуатації стрічкових транспортерів?
18. У чому полягає вибухопожежна небезпека пневматичних систем транспортування?
19. Пожежна профілактика технологічних трубопроводів.
20. Назвіть найбільш раціональні способи прокладання трубопроводів.
21. Як запобігають вибухам у трубопроводах з горючими речовинами?
22. Оцінити можливість пошкодження магістрального нафтопроводу при швидкому перекритті засувки. Робочий тиск нафти в трубопроводі 4,5 МПа. Густина нафти  $830 \text{ кг/м}^3$ . Матеріал трубопроводу – сталь 17 Г 1 С. Модуль пружності  $E=2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ , для нафти  $E=1,35 \cdot 10^9 \text{ Па}$ . Продуктивність трубопроводу  $1500 \text{ м}^3/\text{год}$ , зовнішній діаметр труби 0,4 м, товщина стінки 10 мм.
23. Визначити приріст тиску у сталевому трубопроводі для транспортування бензолу. Під час експлуатації трубопроводу відбувається зменшення його перерізу через утворення відкладень. Початковий тиск в трубопроводі – 0,5 МПа, температура бензолу – 293 К, довжина трубопроводу – 100 м, початкова швидкість руху продукту – 3 м/с, діаметр чистого трубопроводу – 0,25 м, ступінь зменшення діаметру трубопроводу при утворенні відкладень – 0,1. Коефіцієнт кінематичної в'язкості бензолу при 20 °С дорівнює  $0,685 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .
24. Визначити тривалість утворення горючої концентрації в приміщенні компресорної станції, якщо відбулася аварія нагнітального трубопроводу. Температура метану в трубопроводі 20 °С. Робочий тиск в трубопроводі 15 МПа, діаметр трубопроводу 70 мм, коефіцієнт витрати 0,65, вільний об'єм приміщення  $5000 \text{ м}^3$ . В період аварії вентиляція була від'єднана.
25. Компресор має стиснути гарячу метаноповітряну суміш (об'ємна частка метану 0,06) до тиску 35 МПа. Початкова температура суміші – 15 °С, початковий тиск – атмосферний. Оцінити можливість займання суміші при одноступеневому стисненні. Визначити число ступенів стиску в компресорі і безпечний ступінь стиснення з врахуванням того, що допустима температура (виходячи з умов змащування) не повинна перевищувати 140 °С.

## РОЗДІЛ 9 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ПОДРІБНЕННЯ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН ТА МАТЕРІАЛІВ

### 9.1. Пожежна безпека механічної обробки твердих горючих матеріалів

Процеси механічної обробки твердих горючих матеріалів широко розповсюджені на підприємствах різних галузей народного господарства. Ці процеси часто пов'язані з використанням горючих рідин, підвищенням температури і утворення горючого пилу, що може стати джерелом виникнення пожежі.

Механічна обробка різанням – основний спосіб обробки різноманітних матеріалів. Він використовується для отримання деталей з заданою формою, розмірами та шорсткістю поверхні, що відповідають кресленню.

Заготовки деталей, які отримані методами лиття, прокатування, кування, штампування та іншими способами, потребують подальшої обробки різанням. При цьому із заготовок знімається шар металу, який називається припуском. Виконують таку обробку на металорізальних верстатах ріжучими інструментами.

Для здійснення різання необхідне поєднання двох рухів – головного і руху подання. Головний рух забезпечує локальне зняття шару металу, а рух подання – послідовне зняття шару за шаром з усієї заготовки. Швидкість головного руху завжди більша від швидкості подання.

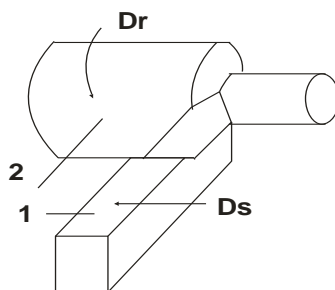
В цехах холодної обробки металів проводяться токарні, стругальні, фрезерувальні, шліфувальні, зуборізальні, довбальні, свердлильні, зварювальні та інші роботи з використанням відповідного обладнання (верстатів та механізмів). Така класифікація залежить від способу здійснення головного руху і руху подання, а також від інструмента, який використовується.

Види технологічних процесів обробки заготовок на металорізальних верстатах зі зняттям стружки наведена на рис. 9.1.



**Рисунок 9.1** – Схема технологічних процесів механічної обробки заготовок

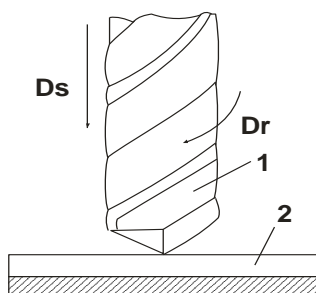
Точінням називають спосіб оброблення за допомогою різця поверхонь заготовки, яка обертається навколо своєї осі. В процесі точіння (рис. 9.2) головним рухом є обертання заготовки 2 навколо своєї осі. Поступальне переміщення інструмента (різця) 1 відносно заготовки 2 (вздовж її осі) називають рухом подання.



**Рисунок 9.2** – Схема різання способом точіння:  
1 – різець; 2 – заготовка

Точінням обробляють циліндричні, конічні та фасонні зовнішні і внутрішні поверхні, торцеві поверхні. Процес точіння здійснюють на токарних, карусельних, револьверних, розточувальних верстатах, токарних і револьверних автоматах та напівавтоматах.

Свердлінням (рис.9.3) називають виготовлення отвору в заготовці з допомогою свердла. В ході свердління головним рухом є обертання інструмента (свердла) 1 або заготовки 2 навколо своєї осі, а рухом подання – переміщення інструмента вздовж своєї осі. Заготовка під час свердління на свердлильному верстаті закріплена нерухомо. Свердління проводять на свердлильних, токарних, револьверних, фрезерних верстатах, токарних і револьверних автоматах.

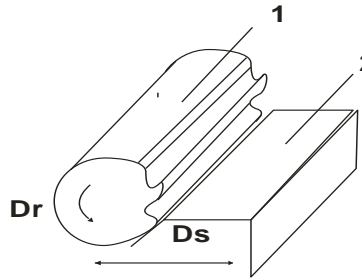


**Рисунок 9.3** – Схема різання способом свердління:  
1 – свердло; 2 – заготовка

В процесі виготовлення отворів на верстатах токарної групи головним рухом є обертання заготовки, а рухом подання – переміщення свердла вздовж осі. Щоб виконати точнішим розмір, а також отримати відповідну шорсткість поверхні, отвори обробляють зенкеруванням, розточуванням або розвертуванням.

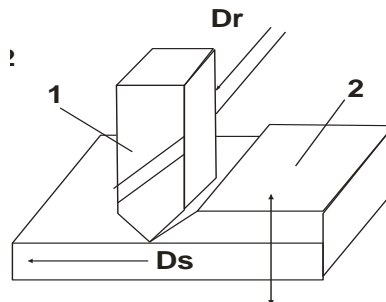
Фрезеруванням (рис.9.4) називають спосіб обробки плоских і криволінійних поверхонь заготовки з допомогою фрези (з франц. *fraise* – *обертаний інструмент з лезами*). Головним рухом є обертання інструмента (фрези) 1, а рухом подання – поступальне переміщення заготовки 2 або інструмента. Фрезерування

здійснюють на фрезерувальних верстатах. На практиці застосовують два способи фрезерування: зустрічне й однобічне. В ході зустрічного фрезерування заготовку подають назустріч обертанню фрези. При цьому кожний зубець фрези зрізує стружку змінної товщини, яка зростає від нуля до найбільшої товщини на виході. Однобічне фрезерування має місце тоді, коли заготовку подають в напрямі обертання фрези. При цьому кожен зубець фрези зрізує стружку, товщина якої зменшується від найбільшої до нуля. Цей спосіб забезпечує більшу стійкість фрези, меншу шорсткість поверхні та затрати енергії.



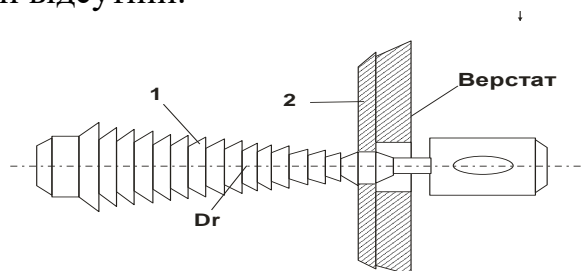
**Рисунок 9.4** – Схема різання способом фрезерування:  
1 – фреза; 2 – заготовка

Струганням (рис.9.5) називають спосіб оброблення плоских поверхонь заготовки за допомогою різця. Головним рухом у цьому способі є зворотно-поступальне переміщення інструмента або заготовки.



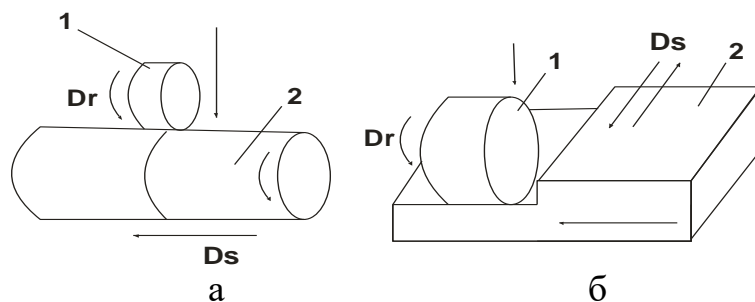
**Рисунок 9.5** – Схема різання способом стругання:  
1 – інструмент; 2 – заготовка

Протягуванням (рис.9.6) називають спосіб оброблення зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовки з допомогою протяжки. Це дуже продуктивний спосіб різання, який забезпечує високу точність розміру та малу шорсткість обробленої поверхні. Головним рухом є поздовжнє переміщення інструмента, а рух подачі відсутній.



**Рисунок 9.6** – Схема різання способом стругання:  
1 – протяжка; 2 – заготовка

Шліфуванням (рис.9.7) називають спосіб оброблення поверхонь заготовки за допомогою шліфувальних кругів з метою досягнення точніших розмірів і зменшення шорсткості поверхні. Найпоширеніші способи шліфування: кругле зовнішнє, кругле внутрішнє (для оброблення отворів) і плоске (для оброблення площин). Головним рухом в процесі шліфування є обертання інструмента. Рух подання переважно комбінований і складається з декількох рухів. Наприклад, у процесі круглого зовнішнього шліфування – це обертання заготовки навколо своєї осі, поздовжнє переміщення заготовки відносно інструмента та поперечне переміщення інструмента відносно заготовки.



**Рисунок 9.7** – Схема шліфування:

а – кругле зовнішнє; б – плоске; 1 – шліфувальний круг; 2 – заготовка

Механічна обробка металів пов'язана з подоланням значних сил тертя, в результаті чого відбувається нагрівання оброблювального матеріалу, ріжучого інструмента та відходів.

Основними факторами, які впливають на ступінь розігріву матеріалу при механічній обробці, є:

- швидкість різання (з підвищенням швидкості різання кількість тепла збільшується),
- величина подавання ріжучого інструменту (збільшення подавання інструменту також супроводжується інтенсивним виділенням тепла),
- якість загострення інструменту (чим нижча якість заточування інструменту, тим інтенсивніше тепловиділення),
- механічні та технологічні властивості матеріалів.

При нормальних режимах різання тепло, яке виділяється, не є небезпечним. Якщо режими роботи порушуються, то температура стружки, інструменту, деталі, що обробляється, значно підвищується. Це може призвести до загоряння матеріалів.

Горючими матеріалами в цехах холодної обробки металів в основному є масла в системах змазування верстатів, в системах гідропривода; масло також використовується для охолодження та змазування ріжучого інструменту. Механічні цехи сучасних машинобудівних заводів мають розвинені масляні комунікації, посудини, фільтри для очищення масла, загальна кількість яких може сягати сотень тонн.

Небезпечним є і масло для захисту заготовок металу від корозії. Метал, який надходить на механічну обробку (сталі листи або рулонну сталь, які

надходять на штампування) покривають шаром мастила з метою захисту від корозії. Разом із відходами це мастило потрапляє на транспортери, з допомогою яких відходи вилучають з цеху. Транспортери забруднюються маслом. Створюються умови для розвитку і поширення пожежі.

Вимоги пожежної безпеки в процесах механічної обробки металів передбачають дотримання встановленого режиму обробки деталей на верстатах (швидкість різання, величина подавання тощо); недопущення використання в роботі незагостреного інструменту, а також верстатів, непридатних для обробки цього матеріалу.

Важливим є дотримання справності і ефективності роботи систем охолодження верстатів. Вода не тільки охолоджує матеріал та інструмент, але і вилучає з робочого місця пожежонебезпечні відходи (крихту, пил, стружку), а також запобігає можливості утворення статичної електрики. Систему подачі води блокують з системою запуску верстата, щоб виключити можливість роботи верстата при виключеній або несправній системі подачі води.

Особливі вимоги до справності масляної системи. Витікання масла назовні повинно бути виключене. Не допускається розлив масла і забруднення робочої поверхні верстата, а також поблизу розташованого простору. У випадку витікання масла слід провести детальне прибирання і очищення з використанням технічних миючих засобів.

Особливу пожежну небезпеку має обробка магнію, титану, цирконію та їх сплавів.

Пил магнієвих сплавів загоряється навіть від іскри, горіння має характер вибуху. Пил і стружка магнію та його сплавів при наявності залишків масел можуть samozagorjatis. Ще небезпечнішим є вологий магнієвий пил, горіння якого протікає надзвичайно інтенсивно і також має характер вибуху.

Існує можливість займання наелектризованого магнієвого пилу, який нагромаджується на стінках витяжних трубопроводів. Електризація пилу може відбутися і внаслідок тертя при роботі шліфувальних верстатів.

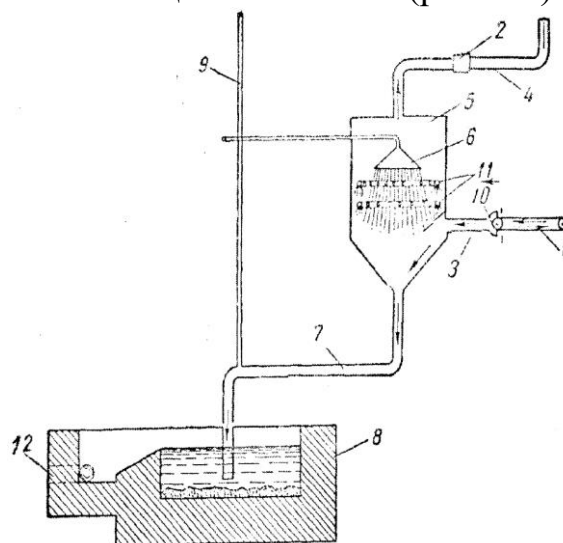
При роботі з магнієм небезпеку мають і пиловловлювальні установки з водяним зрошенням (водяними фільтрами). Магнієвий пил нагромаджується на поверхні води, а через незадовільну вентиляцію фільтрів в них можливе утворення вибухонебезпечної концентрації водню, який утворюється внаслідок взаємодії магнію з водою.

Для запобігання пожеж та вибухів механічна обробка магнієвих сплавів повинна проводитися гострим і правильно заточеним інструментом, забезпечуючи при цьому мінімальну величину тертя.

При обробці виробів на токарних, фрезерних, стругальних та інших верстатах охолодження необхідно проводити маслом або струменем повітря. Використання води для охолодження виробів із магнію та його сплавів заборонено, оскільки при взаємодії її з магнієм утворюється водень.

Слід намагатися звести до мінімуму можливість утворення іскор. З цією метою кожухи верстатів, повітроводи повинні бути виконані з металів, які при ударі не утворюють іскор.

Пил, який утворюється під час обробки виробів вилучається за допомогою спеціальної вентиляційної системи (рис. 9.8).



**Рисунок 9.8** – Схема вентиляційної системи для вилучення магнієвого пилу:

1 – шліфувальна машина; 2 – вентилятор; 3, 4 – повітропровід; 5 – пилозбірник; 6 – розпилювач; 7 – зливний трубопровід; 8 – відстійник; 9 – витяжна труба; 10 – витяжний кожух; 11 – перфоровані труби; 12 – трубопровід для відведення води

Елементи витяжної установки для вилучення магнієвого пилу, особливо ротор вентилятора (2), повинен бути іскробезпечним. Повітря перед надходженням у вентилятор очищається від вибухонебезпечного магнієвого пилу в спеціальних фільтрах. Пил від стрічкової шліфувальної машини (1) вентилятором всмоктується в пилозбірник (5), який зрошується водою з розпилювача (6). Пил осідає і виноситься водою по стінках труб у відстійник (8). Очищене повітря вентилятором подається у повітропровід, а вода з відстійника вилучається.

Систематично проводять прибирання приміщень цехів для обробки матеріалів від пилу. Електрообладнання верстатів для обробки магнієвих сплавів повинно бути тільки у вибухозахищеному виконанні. Локалізація горіння магнієвих сплавів здійснюється піском, порошком оксиду магнію, графітом.

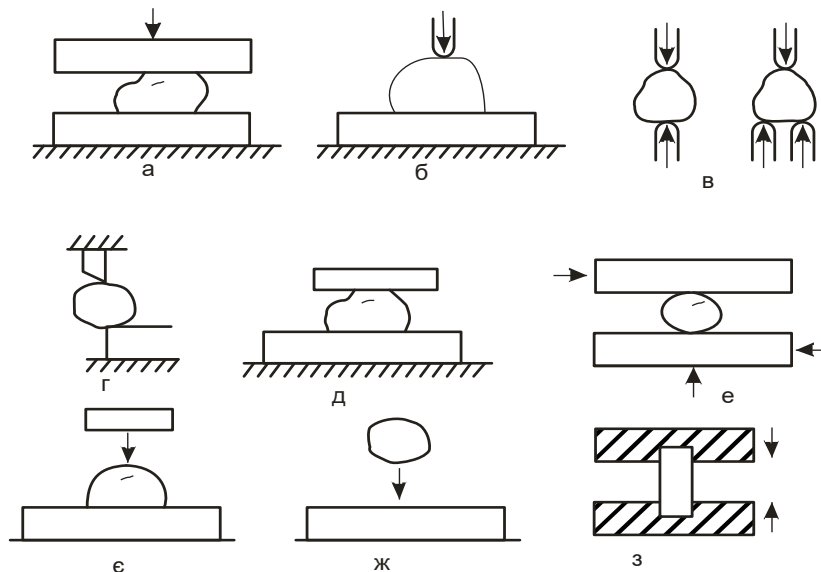
## 9.2. Пожежна безпека процесів подрібнення твердих горючих речовин

Тверді горючі речовини (зерно, вугілля, барвники) в процесі виробництва подрібнюють чи розмелюють. Залежно від початкового та кінцевого розмірів матеріалу, який обробляють, розрізняють різні види подрібнення (табл. 9. 1).

**Таблиця 9.1**

Вид подрібнення	Розміри частинок , мм	
	початкові	кінцеві
Грубе	1500...150	150...25
Середнє	150...40	25...5
Дрібне	25...5	5...1
Тонке	5...1	1...0,075
Колоїдне розмелювання	0,2...0,1	$\approx 10^{-4}$

У виробництві, залежно від властивостей вихідного матеріалу та виду подрібнення за типом прикладеного зусилля, використовують різноманітні види подрібнення: роздавлювання, удар, розтирання, розколювання (рис. 9.9). Для твердих матеріалів застосовують роздавлювання або удар, для в'язких – розтирання, для крихких – розколювання.

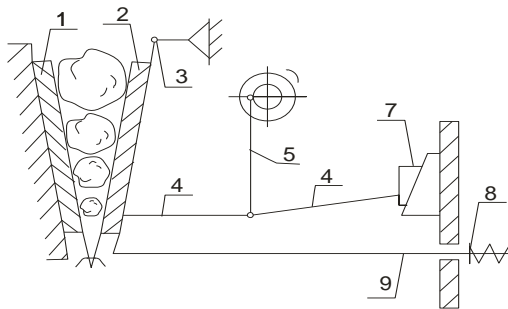


**Рисунок 9.9** – Способи подрібнення матеріалів:

а – роздавлювання; б – розколювання; в – розламування; г – різання; д – розпилювання;  
е – розтирання; ж – розбивання; з – розривання

Залежно від необхідного ступеня подрібнення розрізняють машини для грубого, середнього, мілкового та тонкого подрібнення. До машин грубого подрібнення належать щоківі та конусні дробарки.

Щоківі дробарки використовують для подрібнення вугілля, гірських порід, вапнякового каменю, інших будівельних матеріалів. Схему щоківі дробарки наведено на рис. 9.10. Основними частинами щоківі дробарки є дві щоки: нерухома (1) і рухома (2), яка коливається на осі (3). При зближенні щік відбувається роздушування матеріалу, при зворотному ході рухомої щоки роздушений матеріал через щілину падає вниз, а на його місце зверху надходить нова порція матеріалу. Приводить у дію рухому щоку шатун (5), з'єднаний з ексцентриковим валом (6). Шатун з'єднаний шарнірно з рухомою щокою через розпірні плити (4). Тяга (9) і пружина (8) створюють натяг у рухомій системі і сприяють холостому ходу рухомої плити. Ширину випускної щілини регулюють взаємним переміщенням клинів (7).



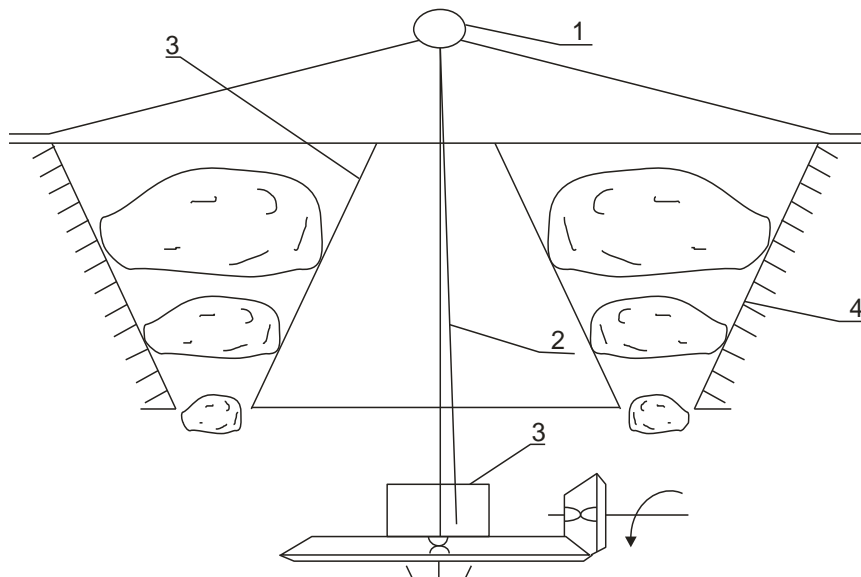
**Рисунок 9.10** – Схема щоківі дробарки:

1 – нерухома щока; 2 – рухома щока; 3 – вісь; 4 – розпірні плити; 5 – шатун;  
6 – ексцентриковий вал; 7 – клин; 8 – пружина; 9 – тяга



Основні переваги щоккових дробарок: простота і надійність конструкції, широка область застосування, компактність і простота обслуговування. До недоліків слід віднести: періодичний характер дії на матеріал і нерівномірність рухомих мас, що спричинює шум і вібрацію під час дробіння. Ступінь подрібнення зростає із збільшенням кута захоплення  $\alpha$ . Проте для того, щоб шматки матеріалу не виштовхувались з дробарки під тиском щік, кут захоплення не повинен бути більшим від подвійного кута  $\phi$  тертя матеріалу. Як правило  $\alpha=15\dots22^\circ$ .

У конусній дробарці (рис.9.11) матеріал подрібнюється безперервним розчавлюванням його між двома конусами. Зовнішній конус (4) нерухомо з'єднаний з рамою дробарки, а внутрішній (3) – закріплений на валу (2). Вал підвішено вгорі на кульовій опорі (1), яка жорстко з'єднана з корпусом. Нижній кінець вала ексцентрично закріплено в стакані (5), який приводиться в рух через конічну зубчасту передачу. Під час обертання вала внутрішній конус дробарки наближаючись до однієї сторони нерухомого конуса, руйнує матеріал. У конусних дробарках, на відміну від щоккових, процес руйнування матеріалу і вилучення його з зони подрібнення відбувається безперервно.



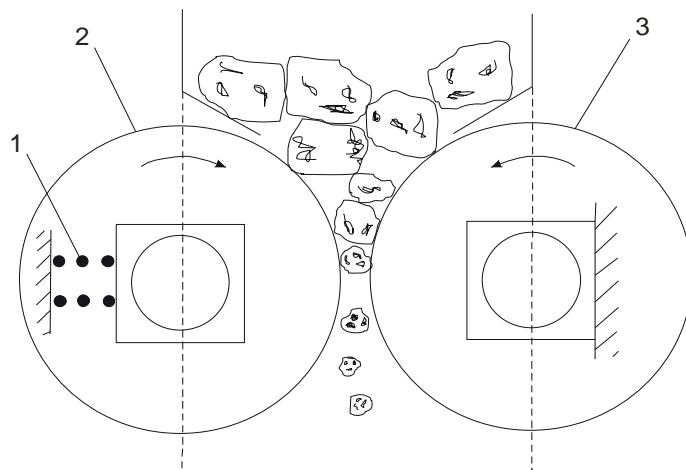
**Рисунок 9.11** – Схема конусної дробарки:

1 – кульова опора; 2 – вал; 3 – внутрішній конус; 4 – зовнішній конус; 5 – стакан

До машин середнього та дрібного розмелювання належать валкові дробарки, молоткові млини та дезінтегратори.

Основним способом подрібнення у валкових дробарках є роздушування матеріалу між двома робочими поверхнями. Такі дробарки використовують для середнього і тонкого подрібнення зерна на млинах і крупорушках, солоду на пивоварнях тощо. Робочою частиною валкових дробарок є горизонтальні валки, кількість яких може бути різною. Найпростіша дробарка має один валок, який обертається навколо горизонтальної осі паралельно нерухомій робочій щочі. В цьому випадку дробіння відбувається між нерухомою щочкою і валком, що

обертається. Проте найчастіше дробарки мають пару або кілька пар валків. Парні валки обертаються назустріч один одному і подрібнення відбувається між валками. Схему валкової дробарки зображено на рис. 9.12. Дробарка складається з валків (2) і (3). Підшипники валка (3) нерухомі, а валка (2) – рухомі. Останні утримуються за допомогою пружини (1), що дає можливість валку (2) зміщуватись, коли у дробарку потрапляють надто міцні сторонні предмети. Розмір шматків матеріалу, що подрібнюється, визначається шириною щілини між валками.

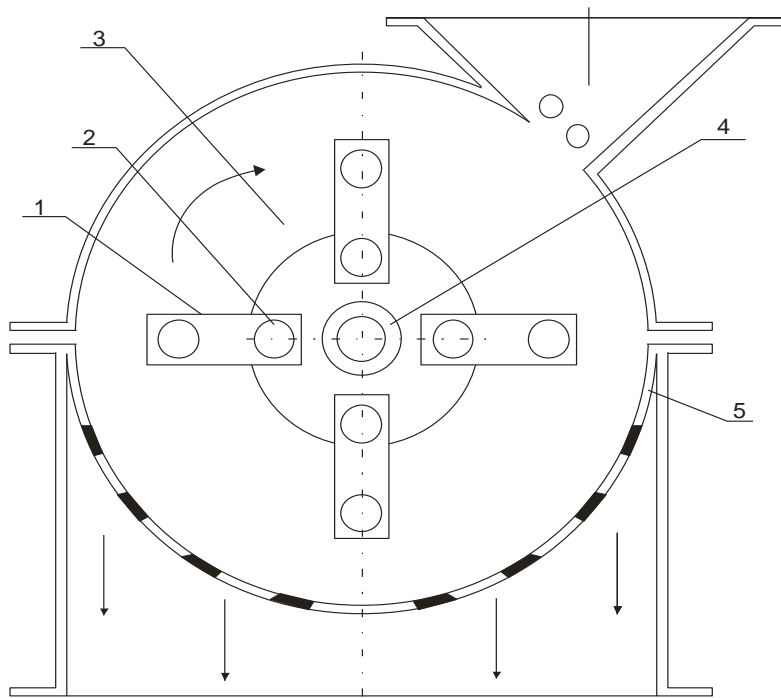


**Рисунок 9.12** – Схема валкової дробарки:  
1 – пружина; 2, 3 – валки

Валкові дробарки компактні і надійні в роботі. Гладенькі валки для подрібнення зерна мають діаметр 250...350 мм, швидкість обертання валків 2,5...5 м/с. Для розмелювання зерна використовують і валки з рифленою поверхнею. Рифлі утворюють деякий кут з твірною вала. Такі валки не тільки роздушують, а й розколюють матеріал. Розмір шматків матеріалу, який надходить на дробіння, повинен бути в 20...25 разів меншим від діаметра гладеньких валків і в 10...12 разів меншим від діаметра рифлених валків.

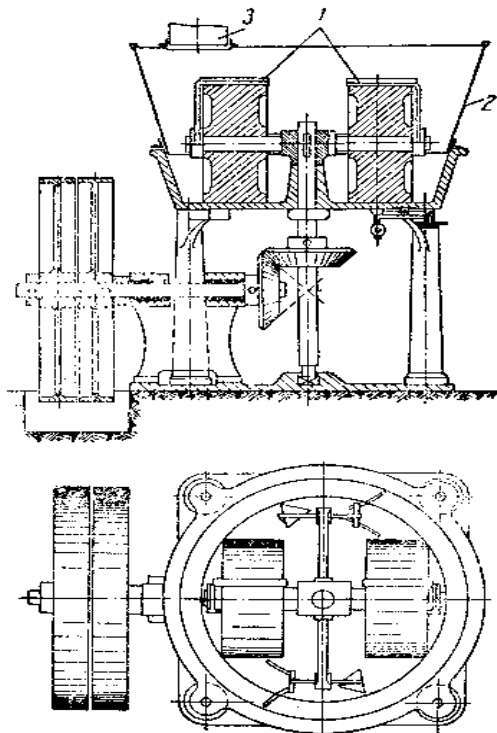
У дробарках ударної дії матеріал подрібнюється ударним навантаженням, яке виникає в результаті дії робочого органа на матеріал, під час падіння матеріалу, зіткнення шматків матеріалу один з одним. Основною частиною молоткових дробарок (рис. 9.13) є диск (3), який змонтований на валу (4) і обертається на горизонтальній осі всередині кожуха. На диску по всьому периметру шарнірно закріплені молотки (1). При обертанні диска молотки набувають радіального напрямку і вдаряють по матеріалу, що надходить до млина, подрібнюючи його. Подрібнений матеріал проштовхується через решітку (5), розташовану в нижній частині корпусу. Ступінь подрібненості визначається розмірами цієї решітки.

Тонке подрібнення здійснюється в машинах, які використовують ударні та розтиральні зусилля. До цього типу машин належать барабанні млини, заповнені кулями або стрижнями, кільцеві млини та бігуни.



**Рисунок 9.13** – Схема молоткової дробарки:  
1 – молоток; 2 – стрижень; 3 – диск; 4 – вал; 5 – решітка

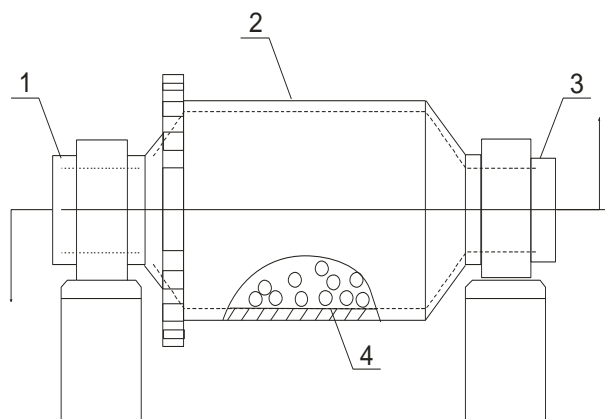
Бігуни (рис. 9.14) складаються з катків, які обертаються на поверхні чаші. Матеріал, який потрапляє у простір між катками та чашею, розтирається. Подрібнений матеріал видаляється періодично або безперервно через щілини в бортах чаші. Розрізняють бігуни з нерухою чашею і катками, що обертаються, та бігуни з рухомою чашею та катками, що обертаються під дією сили тертя.



**Рисунок 9.14** – Схема бігунів:  
1 – катки; 2 – чаша; 3 – бункер

Барабанні млини використовуються для тонкого розмелювання матеріалів у багатотонних виробництвах вугілля, цементу тощо. Залежно від форми барабана кульові млини поділяються на циліндричні, трубчасті, конічні.

Барабанний млин (рис. 9.15) має пустотілий барабан з торцевими кришками, які закінчуються цапфами, встановленими на підшипниках. Барабан на 35...40% об'єму заповнюється тілами (кулями, стрижнями) і матеріалом, який подрібнюють. При обертанні барабану розмелюючі тіла піднімаються на деяку висоту, падають або скочуються вниз, подрібнюючи матеріал.



**Рисунок 9.15** – Схема барабанного млина: 1, 3 – цапфи барабана; 2 – барабан; 4 – подрібнювальні органи

Надтонке подрібнення проводиться у вібраційних колоїдних млинах. Основним їх елементом є барабан, заповнений на 70...80% кулями. Барабан приводиться в рух дебалансним валом. Подрібнення матеріалу у вібраційних млинах здійснюють завдяки інтенсивному рухові віброуючих куль та частих зіткнень частинок матеріалу, що розмелюється.

У всіх названих вище видах машин подрібнення проводиться шляхом роздавлювання, розколення, стирання та удару.

Процеси подрібнення горючих матеріалів мають значну пожежну небезпеку, оскільки супроводжуються збільшенням поверхні твердої речовини. Відбувається утворення вибухонебезпечного пилу. В процесі подрібнення постійно утворюється вибухопожежонебезпечний аерозоль. Саме тому пожежна небезпека технологічних процесів подрібнення визначається властивостями утвореного пилу.

Млини й інші машини, які призначені для подрібнення твердих матеріалів, влаштовують закритими. Концентрація пилу в млинах в різний період їх роботи може бути різною: від нульового значення до значення, які перевищують верхню концентраційну межу займання. Всередині працюючих молотків, кулькових, стрижневих і валкових млинів, дезінтеграторів і дисмембраторів концентрація пилу досягає великих значень, часто вище верхньої межі займання, що виключає можливість вибуху. При зупинці цих машин пил осідає, концентрація його знижується, переходить в область загорання. Потім стає нижчою нижньої концентраційної межі поширення полум'я, тобто середовище в ньому стає безпечним. При пуску машин в роботу концентрація пилу швидко зростає. Якщо

апарат не повністю заповнений сировиною, то концентрація пилу в барабані може бути вибухонебезпечною і при нормальному режимі його роботи. Таким чином, небезпека вибуху пилу в млинах виникає при їх пуску і зупинці, а також у випадку недозаповнення апаратів.

Небезпечним є пил, який надходить з апаратів у виробничі приміщення. Він осідає на обладнання, елементи будівлі та утворює легкозаймисте середовище (аерогель), який здатний загорятись від незначного осередку тепла, а полум'я розповсюджується з великою швидкістю. Небезпека аерогелю полягає в тому, що він здатний легко переходити в аерозоль, який є вибухопожежонебезпечний. Пил деяких горючих речовин здатний самозагорятись, викликаючи вибух.

Джерелами запалювання пилу в машинах для розмелювання є передусім іскри, які виникають при потраплянні в апарати каменів або металевих предметів разом з сировиною, іскри при ударах металевих частин машини один об одного. Іскри в машинах можуть виникнути при її поломці, а також при розрядах статичної електрики. Джерелом запалювання можуть бути деталі механізмів, які нагріті в результаті тертя. Матеріал, який обробляється може самозагорятись.

Для запобігання виникнення пожеж та вибухів в процесі розмелювання твердих горючих речовин необхідно :

- використовувати „мокрі” методи подрібнення;
- запобігати виходу пилу з машини в виробничих приміщеннях шляхом використання пристроїв місцевої витяжки, а також зменшення тиску всередині машини;
- використовувати магнітні вловлювачі й сепаратори для унеможливлення потрапляння в барабани металевих предметів і каміння;
- провести заземлення апаратів машин для запобігання утворення іскор від статичної електроенергії, зволожувати матеріал;
- виключати можливість самозагоряння пилу;
- контролювати температуру підшипників;
- встановлювати запобіжні мембранні клапани, які у випадку вибуху пилу в барабані запобігають руйнуванню апарату;
- використовувати флегматизатори, тобто заповнювати розмелювальні прилади азотом, вуглекислим газом. На весь період роботи або на час проведення окремих операцій проводити розмелювання особливо небезпечних матеріалів разом з негорючими речовинами.

Витяжка запиленого повітря проводиться не тільки з-під кожухів машини, але й і безпосередньо з виробничих приміщень, в яких працюють ці машини. Запилене повітря, яке витягується з машин, апаратів та приміщень, спрямовується в систему вловлення пилу.

Важливим заходом для забезпечення пожежної безпеки виробничих приміщень, в яких здійснюється розмелювання, класифікація і переробка твердих горючих речовин, є регулярне прибирання пилу.

У тих випадках, коли герметизація машин, які здійснюють подрібнення, розмелювання, транспортування і інші подібні операції, пов'язані з отриманням подрібненої продукції, не виключає виходу пилу в приміщення, місця виділення пилу повинні бути обладнані пиłosосами.

Люки і дверцята, які розташовані на розмелювальних агрегатах і трубопроводах з пилом, повинні бути щільно закриті. Завантаження горючих речовин в апарати не повинно перевищувати граничної маси, вказаної в паспорті заводу-виробника.

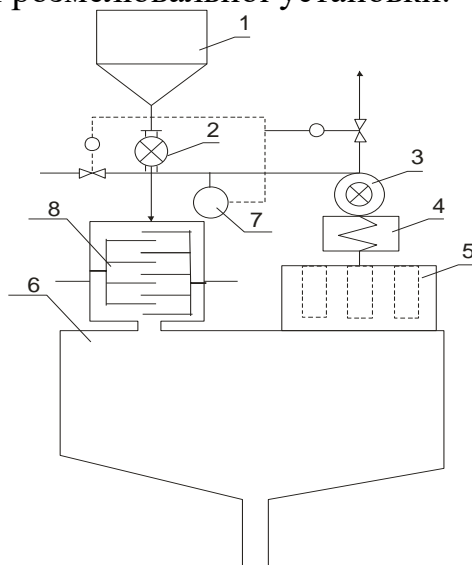
Щоб уникнути поломок апаратів і появи іскор при ударах не можна допускати потрапляння в дробарки і млини разом з горючою сировиною металевих предметів і каменів. За наявності магнітних вловлювачів необхідно стежити за їх справністю і ефективністю дії.

Машини для подрібнення і перемішування подрібнених речовин, обладнані системою подачі інертного газу, повинні мати справне блокування, що дасть можливість запускати їх лише після подачі інертного газу і відключати подачу газу лише після зупинки машини.

Щоб зменшити можливість нагромадження в машинах і апаратах вибухонебезпечного або самозаймистого пилу, що осів, не можна допускати наявності тупикових ліній, відключених ліній, конденсації пари щоб уникнути зволоження стінок, зависання пилу в бункерній частині машин і апаратів.

Очищення машин і прибирання приміщень від пилу необхідно здійснювати у встановлені терміни обережно, без звихрення пилу.

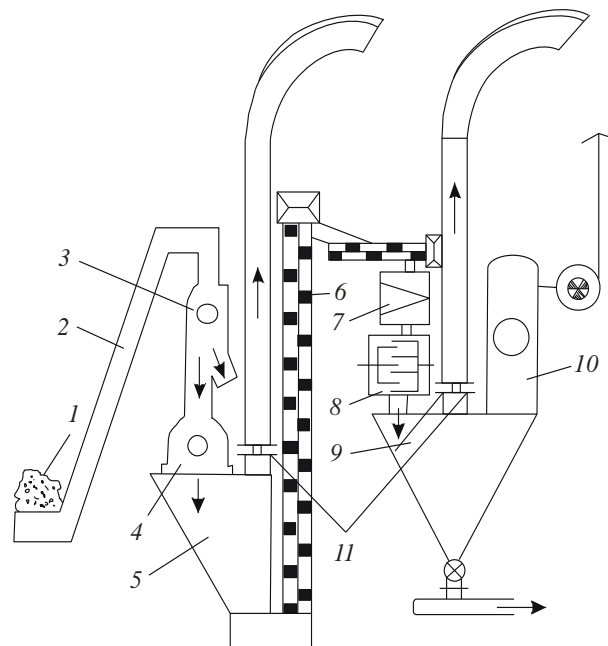
Існують різноманітні способи для протипожежного захисту розмелювальних установок. На рис. 9.16 показана схема розмелювальної установки з рециркуляцією інертного газу. Продукт, який призначений для подрібнення, з завантажувального бункера через шлюзовий затвор подається в млин. Після розмелювання продукт зсипається в бункер-нагромаджувач, звідки періодично розвантажується. Всередині системи постійно циркулює інертний газ, який подається вентилятором. Інертний газ очищається від частинок пилу в фільтрі, дрібні фракції зсипаються в бункер-нагромаджувач. Після охолодження в теплообміннику інертний газ повертається в систему. При використанні захисту методом інертизації необхідний постійний контроль за вмістом кисню всередині розмелювальної установки.



**Рисунок 9.16** – Схема розмелювальної установки з рециркуляцією інертного газу:

- 1 – завантажувальний бункер; 2 – шлюзовий затвор; 3 – вентилятор; 4 – теплообмінник;
- 5 – фільтр; 6 – бункер-нагромаджувач подрібненого продукту; 7 – газоаналізатор кисню;
- 8 – млин

Схема захисту двоступінчастої розмелювальної установки запобіжними мембранами зображена на рис. 9.17. Подрібнений продукт похилим транспортером через магнітний сепаратор, який призначений для вилучення металевих предметів, потрапляє на перший етап подрібнення – у молоткову дробарку. Після попереднього подрібнення продукт нагромаджується в бункері, звідки його транспортним пристроєм через магнітну пастку завантажують у млин тонкого подрібнення. Подрібнений продукт осаджується в бункері, а повітря очищається в фільтрі і викидається в атмосферу.



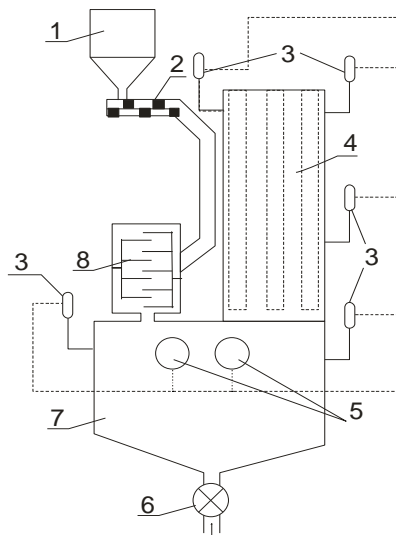
**Рисунок 9.17** – Схема захисту двоступеневої розмелювальної установки запобіжними мембранами:

1 – матеріал для подрібнення; 2 – похилий транспортер; 3 – магнітний сепаратор;  
4 – молотковий млин; 5 – нагромаджувальний бункер; 6 – вертикальний транспортер;  
7 – магнітний каскад; 8 – млин тонкого подрібнення; 9 – бункер; 10 – фільтр; 11 – запобіжна мембрана

Під час експлуатації вказаних установок у магнітних сепараторах відокремлюються не всі тверді тіла, які в при контакті з рухомими деталями млинів можуть призвести до утворення іскор. Тому на загальних бункерах встановлюють запобіжні мембрани, які призначені для відведення газоподібних продуктів вибуху за межі виробничого приміщення.

Для забезпечення розмелювальних установок їх обладнують системою вибухопридушення (рис. 9.18). Подрібнений продукт з бункера через шнековий живильник потрапляє в млин. Після завершення процесу подрібнення він потрапляє в приймальний бункер. Подрібнений продукт розвантажується через шлюзовий затвор. Повітря після очищення у фільтрі викидається в атмосферу.





**Рисунок 9.18** – Схема вибухопридушення на розмелювальній установці:

1 – завантажувальний бункер; 2 – шнековий живильник; 3 – пристрій для подачі вогнегасної речовини; 4 – фільтр; 5 – детектори; 6 – шлюзовий затвор; 7 – приймальний бункер; 8 – млин

Найбільш ймовірним місцем виникнення вибуху у вказаній установці є бункер. Тому на його стінках монтують детектори вибуху, сигнали від яких приводять в дію пристрої подачі вогнегасної речовини в бункер і фільтр. При гасінні осередків пилу, що горить, для уникнення їх взвихрення й вибуху необхідно використовувати розпилену воду із змочувачами.

### Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть основні вимоги пожежної безпеки до процесів механічної обробки металів.
2. Які горючі матеріали знаходяться в цехах холодної обробки металів?
3. Чому процеси механічної обробки металів є вибухопожежонебезпечними?
4. Назвіть основні вимоги пожежної безпеки до процесів механічної обробки магнієвих сплавів.
5. Які джерела запалювання найчастіше зустрічаються у деревообробних цехах?
6. Які шляхи поширення пожежі є найбільш характерні для цехів механічної обробки деревини та пластмас?
7. Назвіть основні фактори, які впливають на ступінь розігріву матеріалу при механічній обробці.
8. Як здійснюють охолодження виробів із магнієвих сплавів при їх обробці виробів на токарних, фрезерних, стругальних та інших верстатах?
9. Які види подрібнення твердих горючих матеріалів Ви знаєте?
10. Назвіть машини для грубого подрібнення.
11. Охарактеризуйте небезпеку аерогелю.
12. Які джерела запалювання виникають в машинах для розмелювання?
13. Охарактеризуйте систему вибухопридушення в розмелювальних установках.
14. Принцип роботи системи захисту двоступінчастої розмелювальної установки запобіжними мембранами.
15. Опишіть схему розмелювальної установки з рециркуляцією інертного газу.
16. Як запобігти виникненню пожеж та вибухів в процесі розмелювання твердих горючих речовин?



## РОЗДІЛ 10

### ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРОЦЕСІВ НАГРІВАННЯ І ОХОЛОДЖЕННЯ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН

Процеси нагрівання та охолодження відносяться до найбільш поширених процесів хімічної галузі. Вони необхідні для прискорення багатьох хімічних реакцій, покращення розчинення твердих речовин у рідинах, проведення процесів ректифікації та перегонки, сушки та плавлення, випарювання та десорбції. Процеси охолодження використовуються для конденсації парів речовин, для розділення речовин з низькою температурою кипіння, для зберігання речовин (холодильники).

Нагрівання та охолодження належать до теплових процесів, оскільки швидкість їх протікання визначається швидкістю підведення чи відведення тепла. До теплових процесів відносять нагрівання, охолодження, випарювання, конденсацію, плавлення, тверднення. В апаратах, де продукт нагрівається або охолоджується, відбувається теплообмін між двома потоками. При цьому один з них нагрівається, а інший охолоджується. Тому апарати, призначені для проведення теплових процесів, називають теплообмінними. Це теплообмінники, холодильники, конденсатори, випарники, кристалізатори, трубчасті та плавильні печі.

Теплові процеси визначаються законами теплопередачі. Теплопередача – наука про способи перенесення теплоти, їх закономірності, розрахунок теплового обладнання. Існують такі способи перенесення тепла – теплопровідність, конвективний перенос, теплове випромінювання.

Теплопровідність – процес переносу тепла шляхом хаотичного (теплого) руху мікрочастинок (в рідинах і газах рух молекул, а в твердих тілах – коливання атомів у кристалічній ґратці, в металах – рух вільних електронів). Кількість тепла  $Q$ , яке передається через одиницю поверхні від одного тіла до іншого шляхом теплопровідності, визначається за законом Фур'є:

$$Q = -\lambda \cdot F \cdot \tau \cdot \frac{dT}{dn},$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;  $F$  – площа поверхні;  $\tau$  – час;  $\frac{dT}{dn}$  – градієнт температур. Знак « $-$ » показує, що у процесі теплопровідності тепло переноситься в сторону зменшення температури.

Конвективний перенос – перенесення тепла рухомими потоками рідини чи газу. Розрізняють перенесення в умовах природної конвекції, коли рух мас рідини чи газу зумовлений різною густиною в різних точках середовища. Теплоперенесення в умовах вимушеної конвекції зумовлене вимушеним переміщенням рідин чи газу.

Тепловіддача – перенесення тепла від поверхні углиб рідини чи газу (або навпаки), описується законом тепловіддачі:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \tau \cdot (T_{cm} - T),$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі (залежить від товщини ламінарного шару);  $F$  – площа поверхні;  $\tau$  – час;  $T_{cm}$ ,  $T$  – температура

**Теплове випромінювання (радіація)** – перенесення енергії у вигляді електромагнітних коливань. Кількість теплоти, яка переноситься від одного тіла до іншого шляхом теплового випромінювання, записується у вигляді:

$$Q = K \cdot F \cdot \tau \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot C_o \cdot \varepsilon_n$$

де  $K$  – коефіцієнт пропорційності, залежить від геометричної форми, розмірів, взаємного розташування;  $C_o$  – коефіцієнт випромінювання абсолютного чорного тіла;  $\varepsilon_n = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2$  – приведений ступінь чорноти двох тіл.

В процесах нагрівання розрізняють продукт, що нагрівається, і теплоносії – речовини, які віддають своє тепло продукту, що нагрівається. Залежно від діапазону необхідних робочих температур використовують різні види теплоносіїв. До прямих джерел тепла відносять відкрите полум'я та паливні гази, які утворюються при спалюванні в паливниках твердого, рідкого та газоподібного палива, електричний струм тощо. Вони забезпечують нагрівання продуктів до найбільш високих температур – 600...700°C та вище. Проміжними теплоносіями називають водяну пару, гарячу воду, нагріте повітря. Водяна пара забезпечує нагрівання до температури не вище 180°C. Таку температуру перегріта водяна пара буде мати при тиску біля 1,023 МПа. При нагріванні до більш високих температур тиск пари значно збільшується і нагрівання стає економічно не вигідним через необхідність використання надміцної апаратури. Високотемпературні теплоносії (спеціальні масла та високотемпературні органічні рідини (ВОТ), розплави солей, рідкі метали) забезпечують нагрівання до температури 300...400°C.

Для охолодження речовин до температур 10...30°C використовують воду і повітря (доступні та дешеві). Для охолодження до нижчих температур застосовують спеціальні холодоагенти – пару низькокиплячих рідин (аміак), скраплені гази (вуглекислий, етан, азот, бутан, пропан, етилен), фреони, холодильні розсоли тощо. Більшість холодоагентів є горючими речовинами.

### **10.1. Пожежна безпека процесів нагрівання водяною парою**

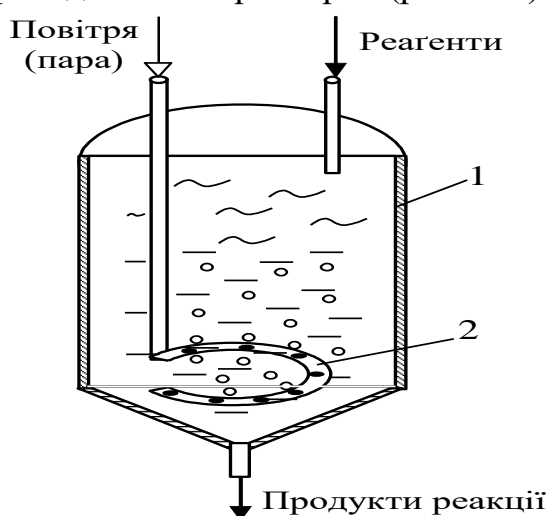
Водяна пара належить до найбільш поширених та дешевих теплоносіїв. Широке застосування процесів, де використовується насичена водяна пара зумовлене:

- великою кількістю тепла, яке виділяється під час конденсації пари ( $2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг) при тиску 0,1 МПа;
- високим коефіцієнтом тепловіддачі від пари до стінки (4640...17400 Вт/м<sup>2</sup>·град);
- рівномірністю нагрівання, оскільки конденсація відбувається при постійній температурі;

- високим коефіцієнтом корисної дії нагрівальних парових пристроїв;
- доступністю;
- пожежобезпечністю.

У більшості випадків використовують насичену водяну пару з тиском 1,0...1,2 МПа. Нагрівання такою парою обмежується температурою 180...190°C. Використання водяної пари більш високого тиску потребує складної та дорогої апаратури, відповідних комунікацій, арматури, що економічно не вигідно.

Нагрівання можна здійснювати «гострою» парою – при цьому пара подається безпосередньо до продукту, що нагрівається, а також «глухою» парою – пара віддає своє тепло продукту через розділяючу стінку теплообмінного апарата. Для нагрівання «гострою» парою використовують спеціальні пристрої з перфорованими трубопроводами – «барботери» (рис.10.1).



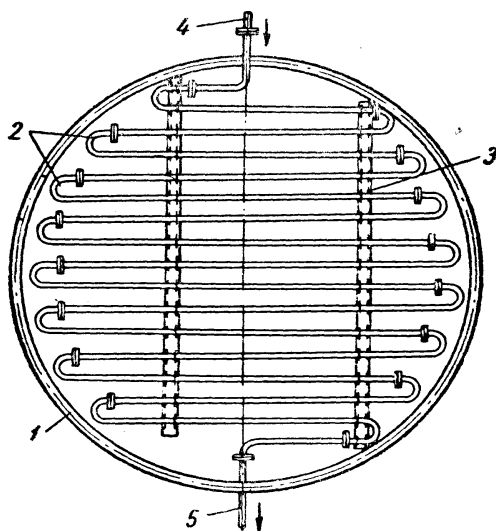
**Рисунок 10.1** – Пристрій для нагрівання «гострою» парою:  
1 – апарат; 2 – перфорований трубопровід або барботер

«Гостру» пару використовують для нагрівання речовин у випадку, коли з технологічних міркувань допустиме їх обводнення. Подачу «гострої» пари в апарати здійснюють через систему перфорованих труб. Перегріта водяна пара барботує через продукт, нагріває його і відводиться з апарата на конденсацію. Одночасно з нагріванням відбувається інтенсивне перемішування. Недоліком такого способу нагрівання є деяке обводнення продукту, оскільки пара в ньому частково конденсується. Цей метод можна застосовувати тоді, коли припустиме змішування водяної пари з рідиною.

До основних вимог пожежної безпеки пристроїв нагрівання «гострою парою» відносяться автоматичне регулювання температури, наявність на паропроводі перед барботером зворотного клапана та автоматичного витратоміра.

Найпоширенішим є спосіб нагрівання «глухою» парою – пара віддає своє тепло продукту через розділяючу стінку теплообмінного апарата. Принципову схему нагрівання глухою парою показано на рисунку 10.2. Пара через патрубок 4 потрапляє в змійовик 2, де рідина, яка знаходиться в резервуарі, нагрівається парою через стінку, що їх розділяє. Пара, що контактує з холодною стінкою, конденсується на ній, плівка конденсату стікає по її поверхні і відводиться

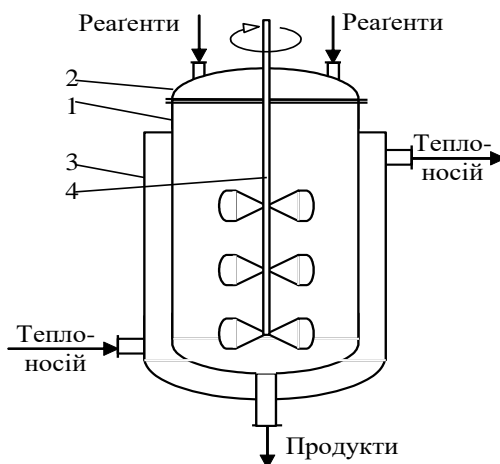
через патрубок 5. Для того, щоб полегшити вилучення конденсату, пару вводять у верхню частину апарата, а конденсат відводять з його нижньої частини. Температура плівки конденсату приблизно дорівнює температурі конденсованої пари.



**Рисунок 10.2** – Розташування змійовиків у резервуарі:

1 – стінка резервуара; 2 – змійовик; 3 – опора під змійовик; 4 – ввід пари; 5 – відведення конденсату

Для нагрівання продуктів «глухою» парою використовують різноманітні теплообмінні апарати: змійовики – колінчасті або спіральні, які вмонтовуються безпосередньо в апарати, підігрівачі з сорочкою – подвійні стінки апаратів (суцільні або зональні), між які подається перегріта пара (рис.10.3); теплообмінники – найбільш поширені теплообмінні апарати.



**Рисунок 10.3** – Схема підігрівача з сорочкою:

1 – апарат; 2 – кришка; 3 – сорочка; 4 – мішалка

Типовий теплообмінник складається з трубок, крізь які прокачують продукт, корпусу (або кожуха), в який подається перегріта водяна пара. У теплообмінниках створюються два ізольованих об'єми – трубний і міжтрубний, в один з яких подають теплоносій, в інший – речовину, яку нагрівають.

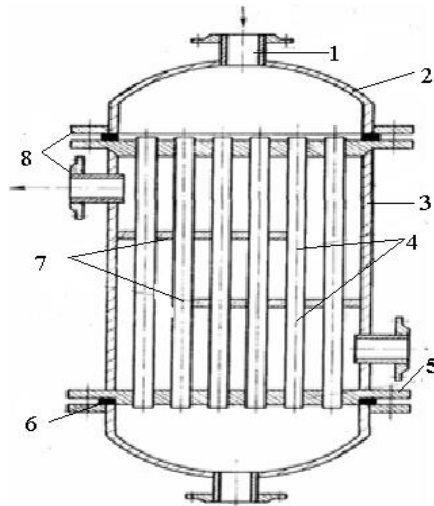
До основних недоліків теплообмінників відноситься виникнення температурних напружень, що можуть привести до пошкоджень апарата. Температурні напруження виникають через видовження металу при нагріванні. При цьому трубки та кожух видовжуються по-різному, оскільки мають різну температуру та інколи виготовлені з різних металів. Через різницю видовжень і виникають температурні напруження – трубки, видовжуючись, розтягують кожух теплообмінника. Незважаючи на незначну різницю видовжень, температурні напруження можуть сягати великих значень. Зокрема, трубка теплообмінника із сталі Ст.3, довжиною 6000 мм, при нагріванні від 0°C до 160°C видовжується на 11,04 мм. Кожух цього ж теплообмінника, також із сталі Ст.3, матиме температуру не більше 60°C, а видовження – 4,14 мм. Тобто, різниця видовжень – біля 7 мм, при цьому температурне напруження становитиме 121 МПа. Ще більші напруження виникають при різкому охолодженні кожухів, наприклад, під час гасіння пожеж.

На різницю температур також впливає організація руху потоків теплоносія та продукту, яка буває прямопотокова – обидва потоки рухаються в одному напрямку, протипотокова – потоки рухаються назустріч один одному, змішана – напрямок потоків змінюється на окремих ділянках апарата завдяки перегородкам. При прямопотоковій схемі існує велика різниця температур потоків, особливо на вході у апарат. При протитоківій схемі різниця температур на кожній ділянці апарата однакова, що значно зменшує температурні навантаження та напруження. Такі схеми використовуються значно частіше.

За конструктивними ознаками теплообмінники поділяються на кожухотрубні та двотрубні типу «труба в трубі».

Кожухотрубні теплообмінники найбільш поширені, на їх частку припадає 80% із всього обсягу теплообмінної апаратури. В них здійснюють нагрівання (апарати – підігрівачі), охолодження (холодильники), конденсацію (конденсатори), випаровування (випарники чи кип'ятильники).

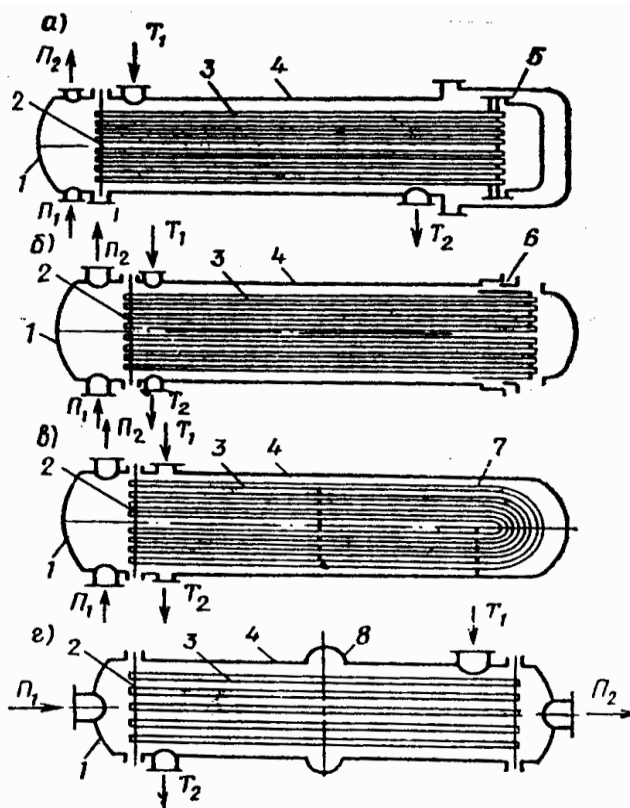
Кожухотрубні теплообмінні апарати з нерухомими трубними решітками (теплообмінні апарати жорсткого типу) складаються зі сталевого циліндричного кожуха або корпусу, в якому розташований «пучок трубок». Трубки виготовляють з міді, латуні, бронзи або оцинкованої сталі. Трубні решітки з розвальцьованими трубками кріпляться до корпусу апарата. З обох боків теплообмінний апарат закритий кришками та обладнаний штуцерами для введення та виведення потоків, які обмінюються теплом. Один потік рухається по трубах, а інший – міжтрубним простором. Через відсутність компенсаційних пристроїв такі апарати не витримують великих температурних напружень і тому їх використовуються лише при невеликій різниці температур між потоками – не більше 50°C. При більшій різниці температур буде відбуватися видовження пучка труб, що в свою чергу зумовлює деформацію труб, порушення кріплення труб до трубної решітки. Перевагою таких апаратів є простота конструкції та невисока вартість.



**Рисунок 10.4** – Кожухотрубний теплообмінник:

1 – патрубок для введення рідини, що нагрівається; 2 – кришка; 3 – корпус; 4 – трубки; 5 – трубна решітка; 6 – сальник; 7 – перегородки; 8 – фланці

Якщо різниця температур між потоками теплоносія і рідини, що нагрівається, становить  $\Delta T \geq 50^\circ\text{C}$ , то використовують теплообмінники з температурними компенсаторами. Кожухотрубні теплообмінники залежно від способу компенсації температурних напружень поділяються на чотири різновиди: з плаваючою головкою, з сальником, з зігнутими трубками, з лінзою на корпусі (рис. 10.5).



**Рисунок 10.5** – Компенсатори трубчастих теплообмінників:

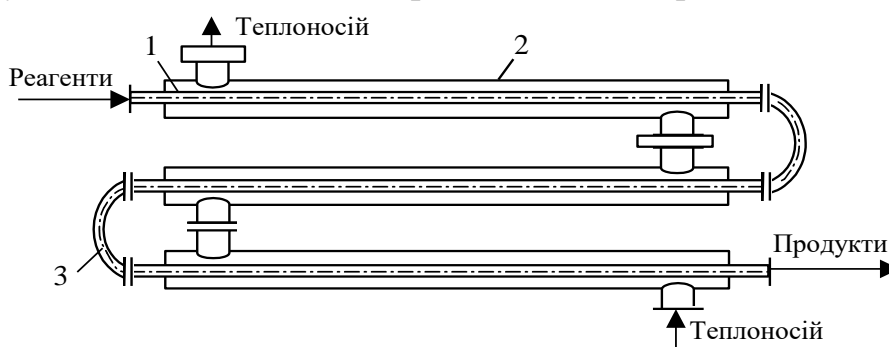
а – з плаваючою головкою; б – з сальником; в – з зігнутими трубками; г – з лінзою на корпусі; 1 – кришки; 2 – трубні решітки; 3 – трубки; 4 – корпус; 5 – плаваюча головка; 6 – сальник; 7 – зігнуті трубки; 8 – лінза;  $T_1, T_2$  – введення і виведення теплоносія;  $P_1, P_2$  – введення і виведення продукту

В теплообмінниках з плаваючою головкою трубки закріплені до решітки плаваючої головки, яка при їх видовженні може вільно пересуватись всередині корпусу, не передаючи на нього температурних напружень. Продукт подається в трубки через розподільчу камеру і через неї відводиться, а водяна пара подається в корпус теплообмінника. Організація руху потоку пари регулюється перегородкою в корпусі теплообмінника.

У теплообмінників з U-подібними трубками трубки закріплюються тільки на одній решітці і при видовженні вільно пересуваються всередині корпусу. Продукт також подається в розподільчу камеру, а напрямок потоку пари регулюється перегородкою в корпусі. Недоліком такого теплообмінника є те, що забруднені трубки важко очищати.

Теплообмінні апарати з лінзовими компенсаторами мають нерухомі трубні решітки, а на їх кожуху встановлюються пристрої у вигляді лінз для компенсації різниці у видовженні кожуха та труб, що виникає внаслідок різниці їх температур.

Теплообмінні апарати типу «труба в трубі» (рис. 10.6) можуть мати жорстку конструкцію або бути розбірними. В таких апаратах теплообмін відбувається між двома речовинами, що рухаються по трубах, та кільцевому простору, утвореному між трубами великого і малого діаметрів. У таких апаратах забезпечуються більш високі швидкості руху, ніж в кожухотрубних, завдяки чому досягаються високі коефіцієнти теплопередачі.



**Рисунок 10.6** – Схема теплообмінника типу «труба в трубі»:  
1 – внутрішня труба; 2 – зовнішня труба; 3 – ретурбэнд

Недоліком теплообмінних апаратів типу «труба в трубі» є великі габарити при відносно невеликій поверхні теплопередачі. Для збільшення поверхні теплообміну їх об'єднують в паралельні секції (батареї).

Жорсткі двотрубні теплообмінники складаються з двох труб різного діаметра та двох приварених кришок. В меншу трубу подається продукт, а в більшу – перегріта водяна пара. За допомогою двійників такі теплообмінники об'єднуються у батареї. Жорсткі теплообмінники можуть використовуватись тільки при перепаді температур не більше 40°C через відсутність пристроїв компенсації температурних напружень.

Компенсаційні двотрубні виглядають як подвійні жорсткі теплообмінники. Але внутрішні труби в них закріплені зварюванням тільки з однієї сторони. З іншого боку теплообмінник закривається спеціальною литою

кришкою, яка зветься "калач". Всередині нього внутрішні труби можуть вільно видовжуватись при нагріванні. Такі теплообмінники також можуть об'єднуватись у батареї.

Внутрішні труби виготовляють з повздовжніми ребрами для кращого центрування та збільшення поверхні теплообміну.

Зрошувальні теплообмінні апарати застосовують як холодильники або конденсатори. Такі апарати складаються з трубних змійовиків та розподільчого пристрою, з якого на трубні змійовики стікає холодна вода або інша охолоджувальна рідина. Вода нагрівається або частково випаровується. Внаслідок високого значення прихованої теплоти випаровування навіть незначне її випаровування супроводжується відведенням великої кількості тепла. Близько 50% тепла у зрошувальних теплообмінних апаратах відводиться водою, що випаровується. Недоліком таких апаратів є громіздкість, інтенсивна корозія і відкладення накипу на зовнішній поверхні труб та труднощі експлуатації в зимовий період

### **Протипожежний захист процесів нагрівання і охолодження горючих речовин в теплообмінниках і холодильниках**

Теплообмінники розташовують на наземних майданчиках, на етажерках або на покриттях насосних станцій. Опори теплообмінників повинні бути з межею вогнестійкості не менше 1 години. Зовнішні етажерки, на яких розташовують теплообмінні апарати з горючими речовинами, виготовляють із залізобетону. При виготовленні етажерок з металу їх нижня частина на висоту першого поверху (включно перекриття), але не менше 4 м, повинна бути захищена від дії високих температур. Межа вогнестійкості колони повинна бути не меншою за 2,5 год, балки, ригеля – не меншою за 1 год, конструкції верхніх ярусів допускається виготовляти з металу.

При розташуванні теплообмінників на покриттях насосних станцій їх встановлюють не більше ніж у 2 яруси.

Покриття майданчиків повинно бути твердим і непроникним для рідин. Не можна допускати забруднення майданчика горючими речовинами. Для змиву розлитих рідин повинні бути каналізаційні стоки, зокрема, не менше двох зливних колодязів діаметром 100 мм кожен з гідрозатворами і пристосування для змиву – водопровідний стояк з краном та шлангом. Для обмеження розтікання горючих рідин майданчики по периметру огорожують бортиками висотою не менше 0,14 м. Такої ж висоти повинні бути пандуси, які розташовують перед сходами з ярусів.

Перед очищенням або ремонтом теплообмінних апаратів продукт, що витікає, і вода при відкриванні кришок повинні бути з майданчика прибрані, а місця забруднень засипані сухим піском. Просочена горючою рідиною теплоізоляція негайно замінюється.

Перед пуском в роботу теплообмінників, холодильників і конденсаторів слід перевірити їх зовнішній вигляд, справність контрольно-вимірювальних або регулювальних приладів, арматури, теплоізоляції, перевірити стан майданчиків під апаратами.



Лінії подачі пари в теплообмінники обладнують автоматичними регуляторами витрати, зворотними клапанами і пристроями для відведення конденсату перед пуском пари в апарати. Здійснюють контроль за тиском, температурою і кількістю теплоносія, що подається, за тиском продукту, що надходить на нагрівання, температурою його на виході з теплообмінника. Для контролю стану теплообмінної поверхні підігрівачів і водяних холодильників необхідно систематично брати проби конденсату і води, що відходить, на відсутність в них горючих речовин. Терміни контролю повинні бути вказані в цехових інструкціях.

Необхідно стежити за подачею води, холодильного розсолу або скрапленого газу в холодильники-конденсатори. При зменшенні подачі холодоагента зупиняють апарати або зменшують їх продуктивність. При припиненні подачі води в конденсатори необхідно перейти на живлення водою з резервного джерела.

Щоб уникнути пошкоджень від температурних напружень розігрівання (при запуску) і охолодження (при зупинці) теплообмінників, особливо кожухотрубчастих і без температурних компенсаторів, слід здійснювати плавно. Гарячі поверхні теплообмінників і підігрівачів захищають теплоізоляцією з негорючих матеріалів. Теплообмінну поверхню теплообмінників, конденсаторів, холодильників регулярно очищають від накипу і забруднень механічним способом або слабкими розчинами лугів, кислот, інших реагентів.

Для гасіння пожежі групи теплообмінників обладнують системами подачі піни чи водяної пари.

## **10.2. Пожежна безпека процесів нагрівання полум'ям і паливними газами**

Нагрівання паливними (димовими) газами є найдавнішим методом нагрівання, який не втратив свого значення завдяки можливості отримання високих температур (100...1100°C) під час спалювання твердого, рідкого та газоподібного палива. Найчастіше їх використовують для нагрівання через стінку інших нагрівальних агентів (проміжних).

Особливістю нагрівання димовими газами є жорсткі умови процесу нагрівання (неприпустимі для багатьох продуктів), значні перепади температур і невеликі коефіцієнти тепловіддачі (35...60 Вт/м<sup>2</sup>·град) від газу до стінок апарата. Великі температурні перепади під час такого нагрівання сприяють досягненню високих теплових навантажень. Найістотнішими недоліками такого методу є: нерівномірність нагрівання, можливість забруднення продуктами неповного згоряння палива, перегрівання матеріалу, пожежонебезпека тощо. Внаслідок низької питомої теплоємності паливних газів об'ємні витрати їх великі і транспортування потребує значних капітальних витрат. Тому паливні гази переважно використовують на місці їх отримання.

Нагрівання паливними газами здійснюється в різних печах (трубчастих, реакційних котлах, автоклавах). Економічно доцільно для цього застосовувати відхідні гази різноманітних виробництв, температура яких є достатньо високою і досягає 500...600 °C.

Відкрите полум'я і паливні гази використовують в процесах перегонки нафти, крекінгу, піролізу, гідроочищення вуглеводнів, переробки рослинних олій для нагрівання легкозаймистих та горючих рідин до температур 350...500°C. Нагрівання здійснюють у трубчастих печах – апаратах, призначених для передачі продуктів тепла, яке виділяється при спалюванні рідкого чи газоподібного палива безпосередньо в цьому ж апараті. Теплообмінна поверхня в печах має вигляд безперервного трубчастого змійовика, яким рухається рідина, що нагрівається.

За технологічним призначенням трубчасті печі поділяються на нагрівні і реакційно-нагрівні. Нагрівні трубчасті печі працюють при температурах не вище 500°C і мають відносно м'який режим роботи. Вони лише нагрівають продукт до заданої температури. У реакційно-нагрівних трубчастих печах (печі піролізу, термічного крекінгу) сировина не тільки нагрівається до певної температури, але і у них створюють умови для протікання хімічних реакцій. Такі печі працюють у більш жорстких умовах – при температурах 600...700°C та малій швидкості перекачування продукту, що необхідне для перебігу реакцій.

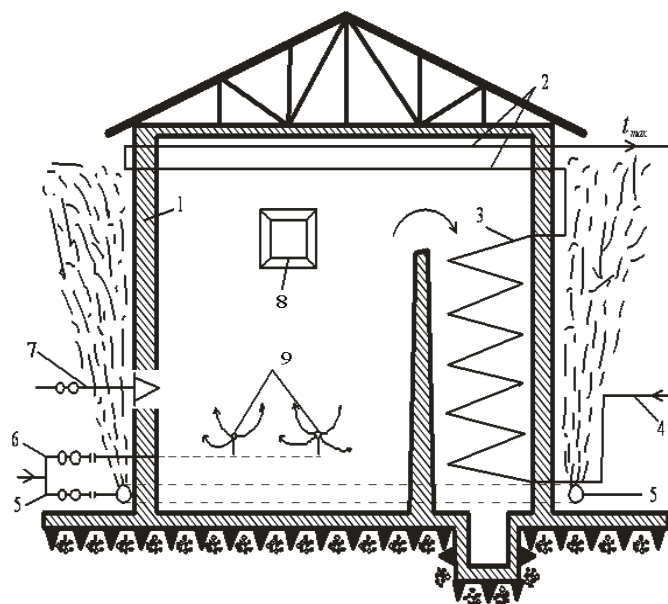
У виробництві застосовуються трубчасті печі різної конструкції. Залежно від способу передачі тепла потокові сировини трубчасті печі поділяють на три групи: конвекційні, радіантно-конвекційні та радіантні. У конвекційних печах основна частина тепла передається шляхом конвекції. Радіацією передається 20...30% тепла. Трубні змійовики таких печей розташовані тільки в конвекційній камері. У печах радіантно-конвекційного типу 40...60% тепла передається радіацією, а решта – конвекцією. Печі цього типу найчастіше застосовують у нафтопереробній промисловості. У радіантних печах основна частина тепла передається у радіантній камері. Конвекційна камера має допоміжне значення, а в деяких випадках взагалі відсутня. Недолік таких печей – висока температура димових газів на виході з печі, що погіршує економічні показники її роботи.

В трубчастих печах застосовують різні способи спалювання палива: вільний – паливо згоряє вільним факелом; настільний – факел стелиться по поверхні стінки і вона, розжарившись, випромінює тепло на екрани пічних труб; з диференційованим підведенням повітря – повітря вводиться диференційовано по всій висоті факела; безполум'яне спалювання – паливо згоряє в отворах керамічної насадки панельного пальника спеціальної конструкції.

За конструктивними ознаками вогневі печі бувають шатрові (горизонтальні) та вертикальні, коробчасті та циліндричні. Залежно від кількості радіантних камер трубчасті печі бувають одно-, дво- та багатокамерними. Труби радіантної камери можуть бути розташовані горизонтально або вертикально.

### **Будова шатрової печі**

Всі трубчасті печі, незалежно від призначення, мають принципово однакову будову. На вигляд трубчаста піч є невеликим будиночком (рис. 10.7). Стіни печей – каркасні. Металевий каркас сприймає навантаження від основних елементів печі – склепіння, труб, арматури, заповнення тощо. Каркас виготовляється із жаростійкої сталі і на ньому закріплюються стінові панелі, кронштейни для труб, інше обладнання печі.



**Рисунок 10.7** – Вогнева трубчаста піч:

- 1 – корпус печі; 2 – радіантні труби; 3 – конвекційні труби; 4 – подача сировини в змійовик;  
 5 – система подачі водяної пари для створення завіси навколо печі; 6 – система подачі  
 водяної пари з метою пожежогашіння; 7 – паливник печі; 8 – запобіжні шарнірно-відкидні  
 дверцята; 9 – парогасіння внутрішнього простору

Стіни та склепіння утворюють теплоізолювальну оболонку печі; вони виготовляються тришаровими. Внутрішній шар стін викладається з вогнетривкої шамотної цегли, середній – із теплоізоляційної цегли або негорючого теплоізоляційного матеріалу, а зовнішній – з червоної цегли. Склепіння печі влаштовується з вогнетривкої підвісної цегли. Існують і інші способи теплоізоляції, наприклад, замість шамотної цегли використовується «сендвіч», що складається з листів жаротривкої сталі і укладеного між ними шару до 80...150 мм мінераловатного теплоізоляційного наповнювача.

Шатро призначене для захисту від атмосферних опадів, воно має каркас, теплоізоляцію та покриття із азбоцементних листів (шиферу).

У радіантній і конвекційній камерах розміщені труби теплообмінної поверхні. Трубопроводи, розташовані в радіантній камері, називаються радіантними секціями або екранами (наприклад, стельовий екран, бічні екрани). Обігрів цих трубопроводів відбувається в основному за рахунок теплового випромінювання, тобто радіації факелів полум'я і розжарених продуктів згорання, тому камера і називається радіантною.

Трубопроводи, розташовані в конвекційній камері, називаються конвекційними трубами. В обігріві цих труб істотну роль виконує теплопередача від димових продуктів шляхом конвекції (звідси і назва камери).

Основне теплове навантаження в трубчастих печах сприймають радіантні секції, конвекційні ж труби сприймають значно менше тепла. Для збільшення кількості тепла, що сприймається конвекційними трубами, їх розташовують близько одна до одної і заповнюють ними весь об'єм камери. Це підвищує швидкість руху і турбулентність димових продуктів.

Всі труби конвекційної і радіантної секцій послідовно з'єднуються в один безперервний змієвик. Діаметри труб мають від 76 до 159 мм, а загальна довжина змієвика в деяких типах печей доходить до 200...250 м.

Прокачування продукту, що нагрівається здійснюється по трубчастому змієвику. Він складається з окремих жаростійких труб ( $d=200...500\text{мм}$ ), які перетинають весь простір печі. Загальна довжина змієвика в реакційно-нагрівальних печах може сягати 10 км.

Труби секцій з'єднуються у змієвик фасонними відливками – так званими двійниками або ретурбендами, які винесені в спеціальні коробки. Двійники дають можливість не тільки з'єднувати кінці двох сусідніх труб, але і здійснювати очищення їх внутрішніх поверхонь, а також замінювати пошкоджені труби новими, не порушуючи сусідніх з'єднань. Двійники можуть мати різну будову. Корпус двійника має чотири отвори. У два нижні отвори ввальцьовані кінці труб змієвика. Два протилежні отвори кінцевої форми щільно закриваються корками і притискаються болтом і розпірною гайкою.

Внутрішній об'єм печі розділяється перевальною горизонтальною або вертикальною стінкою на дві нерівні частини, одна з яких – більша – є пальниковим простором і називається радіантною камерою, а інша – менша – називається конвективною камерою. У радіантній камері вмонтовані паливні форсунки. Кількість форсунок залежить від потужності печі і може бути від 4 до 16 і більше. Деякі види печей можуть мати два види форсунок – рідинні і газові. Як правило, одна половина форсунок працює на рідкому паливі, живлячись від загальної паливної магістралі, а інші – на газоподібному паливі. Повітря, необхідне для спалювання палива, подається в підігрітому стані по повітряних коробах.

В радіантній камері нагрівання відбувається завдяки випромінюванню факела та кладки печі. В конвекційній камері нагрівання здійснюється в більш м'якому режимі завдяки конвективному переносу при контакті гарячих продуктів згорання з трубами печі. М'яке нагрівання зменшує температурні напруження на піч та труби. При нагріванні у вогневих горизонтальних печах використовується протипотокова система подачі теплоносія – рідина спочатку подається в труби конвекційної камери, а потім – у радіаційну зону.

Спалювання палива здійснюється у форсунках або пальниках. На трубчатих печах використовують комбіновані газомазутні форсунки. Вони забезпечують створення факела полум'я з температурою до  $1300...1600^{\circ}\text{C}$  залежно від калорійності палива.

Відведення паливних газів здійснюється газоходом та димовою трубою.

Рідину, яку нагрівають, подають у пічний змієвик, зокрема, спочатку в конвекційні труби, а потім – в радіантні. У радіантній камері печі у форсунках або в пальниках спалюється рідке або газоподібне паливо. Утворені димові гази, пройшовши через перевальну стінку, надходять у конвекційну камеру, де віддають частину тепла конвекційним трубам. Далі димові гази проходять димохід (боров) печі і відводяться через димову трубу в атмосферу.

Рідке і газоподібне паливо, що підводиться до форсунок, згорає в радіантній камері, виділяючи велику кількість тепла. З радіантної камери димові продукти надходять в конвекційну камеру, а потім – у димохід і димар. Залежно від призначення печі температура в зоні згорання палива може

досягати 750...1400° С. Температура димових продуктів при виході з радіантної камери становить близько 800...900° С, а при виході з конвекційної камери в димохід вона приблизно на 150...200° С вища за температуру сировини, що надходить в піч.

Рідина, яку необхідно нагріти, спеціальними насосами подається в труби конвекційної камери і, проходячи послідовно всі труби, нагрівається до заданої температури.

Температурні режими нагрівання продукту і його тиск у змійовиках залежать виключно від призначення печі і змінюються у широких межах:

- при прямій перегонці нафти температура продукту при виході з печі досягає 330...370°С, а тиск в трубах (на вході) – 15 атм;
- при крекінг-процесах температура підігріву продукту може бути понад 500° С, а тиск – 50...70 атм;
- при гідрогенізації сланцевої смоли температура сировини підвищується до 460° С, а тиск досягає 310 атм.

Робота трубчастих печей характеризується постійною циркуляцією по змійовиках значної кількості горючої рідини, що нагрівається до високої температури (дуже часто вищої за температуру самозаймання нафти, яка дорівнює 250 – 320°С) і має значний внутрішній тиск. Також у таких печах в паливному просторі наявні джерела відкритого вогню.

Одночасно в змійовиках трубчастої печі (залежно від її типу) може знаходитися до 3...15 т горючої рідини. Оскільки продукт в трубах перебуває під значним тиском і при високій температурі, будь-який його витік може призвести до великої пожежі.

Вертикальні печі (рис. 10.8) відрізняються тим, що пальники (форсунки) розташовуються на дні печі і полум'я б'є вертикально вгору, частина радіантних труб теж розташовується вертикально.

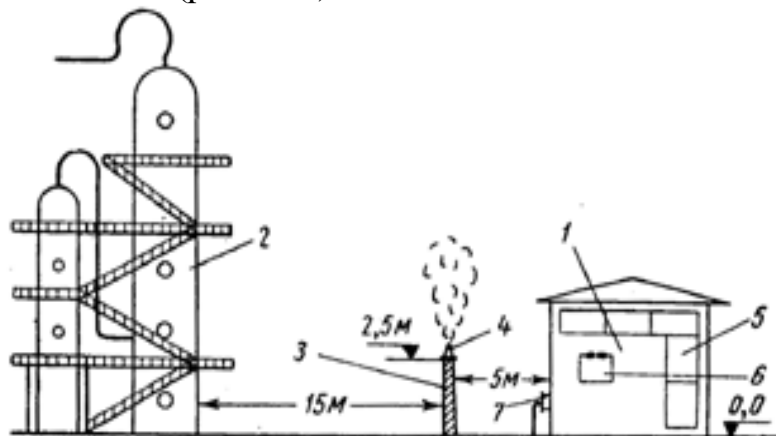


**Рисунок 10.8** – Загальний вигляд вертикальної трубчастої печі

## Протипожежний захист процесів нагрівання в печах з вогневим обігрівом

Вогневі трубчасті печі можуть розташовуватись в приміщеннях або на відкритих майданчиках. При розташуванні в приміщеннях печі повинні відокремлюватися протипожежними перегородками з межею вогнестійкості не менше 0,75 год; вихід з приміщення повинен бути безпосередньо назовні, але не в сторону зовнішніх нагрітих до високих температур установок; приміщення печі повинні бути не ближче 10 м від приміщень категорії "А" та "Б"; в приміщенні не повинно бути сторонніх апаратів; редуктор палива розташовується назовні.

При розташуванні вогневих печей на майданчиках необхідно дотримуватися протипожежних відстаней до сусідніх апаратів, установок, будівель та споруд. Якщо з технологічних міркувань ці відстані не дотримуються, то печі на випадок аварій сусідніх апаратів з горючими газами, парами і легкозаймистими рідинами для створення парової завіси обладнують кільцем з перфорованих труб. Якщо пальники вогневої печі спрямовані в сторону апарата зі скрапленими газами чи легколеткими рідинами, то між ними прокладають глуху стіну висотою 2...2,5 м і зверху на ній – трубопровід для створення парової завіси (рис.10.9).



**Рисунок 10.9** – Глуха стіна (екран) між вогневою пічкою і колонами:

1 – вогнева піч; 2 – колони; 3 – глуха стіна (екран) зі сторони пальників; 4 – трубопровід для створення парової завіси; 5 – дверцята двійникових шахт; 6 – противибухові шарнірно-відкидні дверцята

Передбачають автоматичний пуск парової завіси при появі у повітрі горючих парів або газів за сигналом від стаціонарно встановлених на майданчику газоаналізаторів. Стаціонарна система парогасіння печей і парової завіси завжди мають бути в справному стані.

Пуск печей в роботу повинен здійснюватися відповідно до регламенту пуску чи встановленої цеховою інструкцією послідовності операцій. Перед пуском зливають воду і конденсат з трубопроводів газоподібного і рідкого палива, перевіряють щільність закриття засувки на паливних лініях. Безпосередньо до розпалювання пальників приступають тільки після закінчення продування внутрішнього простору печі, а також ділянки паливопроводу від колектора або цехової засувки до печі з викидом продувної

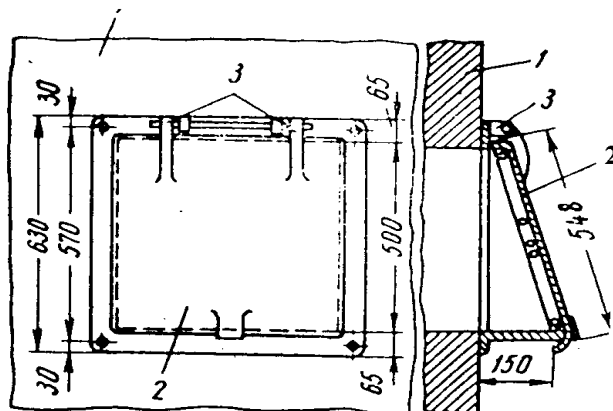
пари назовні. Для розпалювання пальників і форсунок необхідно користуватися запальником. При розпалі пальників або форсунок факелом забороняється просочувати його легкозаймистою рідиною. Запальник або факел можна виймати з печі тільки після того, як встановилося стійке горіння палива.

Після розпалювання печі за нею має бути встановлений безперервний контроль до тих пір, поки стінки печі не нагріються до температури, що перевищує температуру самозаймання палива.

Паливо повинно бути очищене від води і механічних домішок. За станом системи паливоподачі систематично спостерігають, не допускаючи нещільностей і пошкоджень. Якщо піч не працює, паливний газохід від'єднують від неї. Крім засувки, розташованої на трубопроводі подачі палива, встановлюють другу засувку на відстані 10 м від першої. При раптовому припиненні подачі палива до працюючої печі необхідно відразу ж перекрити паливні лінії і з'ясувати причину цього явища. Передбачають автоматичне перекривання паливної лінії чи перехід на інший вид палива при обриві факела.

Нагріті до високих температур зовнішні конструкції печей і продуктопроводи захищають тепловою ізоляцією. В процесі експлуатації необхідно стежити за станом теплообмінної поверхні і при небезпеці пошкодження вживати заходи, що запобігають її прогару або розриву. Робота при перевищенні допустимих термінів зносу теплообмінної поверхні забороняється. При прогарі теплообмінної поверхні печі необхідно викликати пожежну частину і приступити до аварійної зупинки відповідно до інструкції.

З метою запобігання руйнуванню корпусу печі і димоходів при вибухах в стінках радіантної камери влаштовують запобіжні клапани шарнірно-відкидного типу (рис.10.10), а у димоході – мембранного типу.



**Рисунок 10.10** – Шарнірно-відкидні дверцята:  
1 – корпус печі; 2 – дверцята; 3 – шарніри

Якщо піч не працює, паливний газопровід повинен бути герметично відключений від печі. За відсутності продувної свічі лінія паливного газу відключається заглушкою.

При викиді пари і легкозаймистих рідин на територію установки з працюючими печами необхідно негайно викликати пожежну частину і вжити заходів проти розливу рідини по майданчику. Одночасно з цим необхідно припинити обігрів печей.

Необхідно стежити, щоб шафи двійників трубчастих печей мали справні металеві дверцята, що щільно закриваються, а при нагріванні горючих рідин під двійниками в шафах були посудини з дренажними трубками.

У встановлені терміни здійснюють очищення теплообмінної поверхні від коксу та інших відкладень. Його проводять різними способами – механічним (очищення бойком, що приводиться в дію від пневматичної турбіни), паромеханічним (подача в змійовик пари під тиском близько 0,3 МПа з подальшим підвищенням його температури в печі до 550...650 °С та вилучення залишків коксу бойком), пароповітряним (продування змійовика водяною парою при тиску біля 0,2 МПа і температурі в печі до 650 °С з подальшою подачею до нього повітря для вигорання коксу).

Оптимальна швидкість потоку продукту в змійовиках – 2...3 м/с. Потрібно контролювати тиск продукту в змійовиках, не допускаючи підвищення тиску перед входом в піч і зменшення його на виході. Температуру і тиск в печах регулюють автоматично.

Під час експлуатації печей і інших апаратів з вогневим обігрівом повинна бути забезпечена нормальна робота вимірювальних приладів, засобів автоматичного контролю і регулювання основних параметрів і захисту апаратів. Робота з несправними вимірювальними приладами або засобами автоматичного контролю, регулювання і захисту не допускається.

Вогневі печі оснащують системою аварійного зливу із змійовика, з підключенням до його початку та кінця. Пристрої для спорожнення печей від горючих рідин при аварії і пожежі повинні бути справними і їх слід регулярно перевіряти. Водяну пару в трубчастій печі і апарати для витискування продукту слід подавати тільки після зниження тиску продукту нижче за тиск пари в паропроводі, при цьому з парових ліній необхідно заздалегідь спустити конденсат.

З аварійного резервуара перед спуском в нього з печі горючої рідини необхідно вилучити залишки води і обводненого продукту. До початку спуску рідини в аварійний резервуар потрібно подати водяну пару, заздалегідь звільнену від конденсату.

Сучасні печі є достатньо надійними в роботі, мають до семи ступенів захисту, апаратуру, що контролює тиск в трубопроводі під час надходження нафтопродукту в піч і при виході з неї; температуру нафтопродукту під час його надходження до печі і при виході з неї; температуру в радіантній і конвекційній камерах тощо. Обрив полум'я форсунок контролюється сповіщувачами з фотоелементами за інфрачервоним випромінюванням полум'я. При цьому повторне запалюванні згаслих форсунок можливе буде тільки після продування камерного простору.

Трубчасті вогневі печі обладнують стаціонарною системою парогасіння, забезпечують первинними засобами пожежогасіння. Водяну пару підводять у радіантну камеру, у всі камери двійників (ретурбендів), в димоходи, до основи димової труби. Всі парові лінії обладнують пристроями для продування їх від конденсату.



### 10.3. Пожежна безпека процесів нагрівання високотемпературними теплоносіями

Суть методу нагрівання високотемпературними теплоносіями полягає в тому, що такі теплоносії спочатку нагріваються димовими газами і передають своє тепло матеріалам, які необхідно нагріти.

Установки нагрівання високотемпературними органічними теплоносіями (ВОТ) нагрівають легкозаймисті та горючі рідини до температури 300...400°C.

Високотемпературні теплоносії поділяють на три групи.

До першої групи належать рідкометалічні теплоносії (літій, натрій, калій, ртуть, галій, свинець, сплави натрію і калію, інші легкоплавкі метали і їх сплави), які ефективно використовують для нагрівання до температур 400...800 °C у рідкому і пароподібному стані. Зі всіх високотемпературних теплоносіїв рідкометалічні мають найбільшу термічну стійкість. Однак, вони агресивно впливають на матеріал конструкцій. Пари рідкометалічних високотемпературних теплоносіїв є високотоксичними, пари лужних металів – дуже вибухопожежонебезпечними. При робочих температурах рідкометалічні високотемпературні теплоносії інтенсивно окиснюються. Тому в пароподібному вигляді їх можна використовувати лише в герметичних установках, а в рідкому стані – в захисній атмосфері інертних газів. Більшість металевих теплоносіїв пожежо- та вибухобезпечні і фактично не впливають на маловуглецеві леговані сталі. Лише літій, натрій, калій, їх сплави потребують використання нержавіючої сталі, оскільки є надзвичайно високохімічноактивними і спалахують з швидкістю вибуху. Ртуть є єдиним металевим теплоносієм, що використовується у пароподібному стані, тиск парів якої дуже низький ( $\approx 2$  атм при 400 °C). Ртутно-парові нагрівальні установки, що працюють в умовах природної циркуляції теплоносія, характеризуються високим ККД. Недоліком ртутного та інших металевих теплоносіїв є необхідність забезпечення абсолютної герметичності нагрівальних установок та потужної приточно-витяжної вентиляції, оскільки вони є надзвичайно отруйними. Крім того, низька змочуваність та висока вартість обмежують використання теплоносіїв цієї групи.

Друга група – розплавлені солі і суміші солей ( $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{NaNO}_3 + \text{NaNO}_2 + \text{KNO}_3$ ,  $\text{AlCl}_3 + \text{AlBr}_3$ ,  $\text{NaNO}_2 + \text{KNO}_3$ ). Нагрівання такими солями використовується у випадках, коли необхідно нагріти продукти до температур, що перевищують граничнодопустимі температури для високотемпературних органічних теплоносіїв. Найбільше практичне застосування має нітрит-нітратна суміш  $\text{NaNO}_3$ (40% мас.)+ $\text{NaNO}_2$ (7% мас.)+ $\text{KNO}_3$ (53% мас.). Використання цієї суміші дає можливість нагрівати продукти до температур 500...540°C. До температури 450 °C суміш не зумовлює корозії вуглецевих сталей. У випадку необхідності проведення процесу при вищих температурах для виготовлення апаратури та трубопроводів використовують хромисті і хромонікелеві сталі, крім того їх оснащують паровим обігріванням. Суміші застосовують лише у разі обігрівання з вимушеною циркуляцією, яка забезпечується спеціальними насосам пропелерного типу (вертикальні) або безсальниковими відцентровими

насосами. Коефіцієнт тепловіддачі у перегрітій воді є вищими, ніж від суміші, однак при вимушеній рециркуляції досягається інтенсивніший теплообмін. З міркувань вибухобезпеки неприпустимим є контакт при високих температурах нітрит-нітратної суміші з речовинами органічного походження, стружкою і пилом чорних металів, алюмінію і магнію, оскільки вона є сильним окиснювачем.

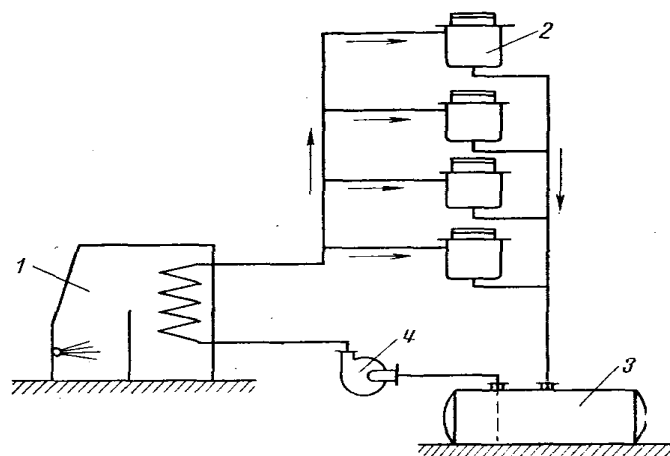
Ці сполуки є мало активними за відношенням до металів. Розплавлені солі найменш токсичні. Максимальна температура нагрівання обмежується термічною стійкістю солей і не перевищує 550°C. Найбільш досконалою з цієї групи є нітрит-нітратна суміш, яка складається з 4% азотистокислового калію, 7% азотнокислового натрію і 53% азотнокислового калію. Однак у пожежному відношенні вона є небезпечною, оскільки при робочій температурі вона легко окиснюється і нітрує органічні речовини, викликаючи пожежі і вибухи.

Третя група – органічні високотемпературні теплоносії (ВОТ), зокрема, мінеральні масла, гліцерин, дифеніл ( $C_6H_5-C_6H_5$ ), дифеніловий ефір ( $C_6H_5-O-C_6H_5$ ), даутерм (дифенільна суміш дифенілу –26,5% і дифенілового ефіру – 73,5%), мобільтерм, спеціальне ароматизоване масло АМТ-300. ВОТ використовують як в рідкому, так і в пароподібному стані в інтервалі температур від – 40°C до + 100°C. Вони, як правило, не викликають корозії конструкційних матеріалів на противагу рідкометалічним. ВОТ менш термічно стійкі. Всі ВОТ горючі і вибухонебезпечні, деякі в процесі нагрівання розкладаються, виділяючи газоподібні продукти, які з повітрям утворюють вибухонебезпечні суміші. Це горючі рідини з високою температурою кипіння і спалаху, вони в'язкі, але окремі з них при низьких температурах можуть застигати як парафіни.

Не дивлячись на відзначені недоліки, ВОТ широко розповсюджені в різноманітних галузях промисловості. Частіше за все використовуються мінеральні масла – компресорні, циліндрові. Суттєвий їх недолік – низька термічна стійкість (200...250°C). При розкладанні утворюються тверді частинки, забруднюють теплообмінні поверхні, що створює умови для прогару труб. Утворюються і газоподібні продукти, які зменшують температуру спалаху масла. Через розкладання масла виникає необхідність подачі в систему нових порцій.

Масло АМТ-300 містить більше ароматичних сполук, ніж звичайні мінеральні масла, що збільшує його термічну стійкість. Однак АМТ-300 також розкладається, наслідком чого є безперервне зменшення температури спалаху в процесі експлуатації.

Великі промислові установки нагрівання з допомогою ВОТ бувають одноконтурними та двоконтурними (рис. 10.11).



**Рисунок 10.11** – Схема нагрівання рідким ВОТ:

1 – трубчаста піч нагрівання ВОТ; 2 – теплообмінники з сорочкою; 3 – збірник відпрацьованого теплоносія; 4 – циркуляційний насос

Під час роботи ВОТ циркуляційним насосом прокачується через трубчасту піч, нагрівається і подається в теплообмінники, де віддає своє тепло продукту, що нагрівається. Надлишок об'єму ВОТ, що виникає через його теплове розширення, витискується в розширювальний бачок для запобігання збільшенню тиску в системі.

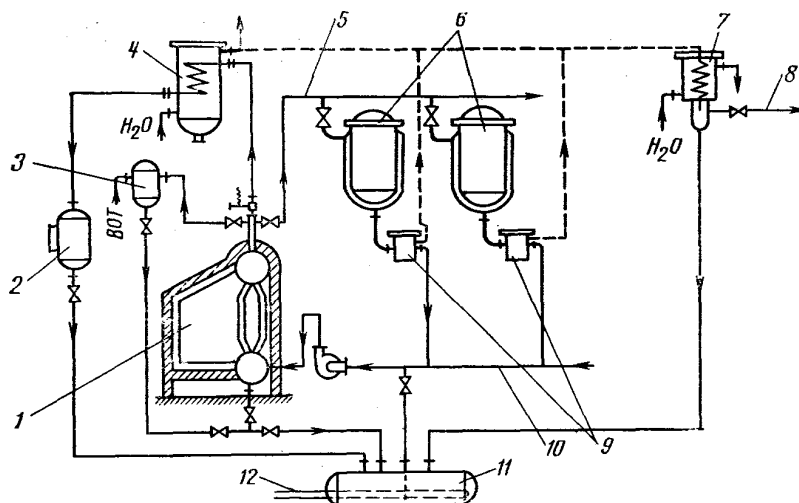
Недоліком такої установки є можливість забруднення підкожухового простору теплообмінників відкладенням коксу. Кокс виникає у результаті розщеплення ВОТ в трубчастих печах при місцевих перегрівках, оскільки через турбулентність полум'я печі неможливо забезпечити рівномірне нагрівання.

З метою зменшення обладнання, яке необхідно періодично чистити, використовують двоконтурні установки. На таких установках ВОТ першого контуру віддає тепло ВОТ другого контуру, який через теплообмінники нагріває продукт. Таким чином забруднюватись буде тільки один теплообмінник першого контуру.

Як правило, до складу установок нагрівання ВОТ входять інші приміщення та споруди, зокрема, котельня, де розташовують трубчасту піч; апаратна – для розташування насосів, розширювальних бачків, запасу ВОТ та теплообмінників першого контуру; майданчики або етажерки – для розташування теплообмінників другого контуру.

Крім великих промислових установок нагрівання ВОТ використовують також і компактні установки. Вони мають електронагрівачі і забезпечують подачу ВОТ в сорочки нагрівання або у змішувачі, що вмонтовані безпосередньо в технологічні апарати. Такі установки розташовують безпосередньо на виробничих дільницях.

Більш складними за будовою є системи обігріву парами ВОТ. На рис.10.12 наведено схему нагрівання апаратів парами дифенільної суміші. Пари ВОТ, які отримують в котлі 1, подаються в парові сорочки апаратів 6, в яких нагрівається продукт. Пари віддають своє тепло і конденсуються. Рідина через конденсатовідвідники 9 надходить у магістраль 10, по якій насосом повертається в котел. Пари, які викидаються з котла через запобіжний клапан, і пари, які не сконденсувались в конденсаторах 4 і 7 повертаються в систему.



**Рисунок 10.12** – Схема нагрівання парама ВОТ:

1 – котел; 2 – збірник; 3 – живильний бак; 4 – конденсатор; 5 – парова магістраль ВОТ; 6 – апарати; 7 – конденсатор; 8 – лінія до вакуум-насоса; 9 – конденсатовідвідник; 10 – зворотна магістраль ВОТ; 11 – збірник; 12 – підігрівач збірника

### Протипожежний захист процесів нагрівання в установках ВОТ

Систематично контролюють пожежонебезпечні властивості теплоносія. При обігріванні ароматизованим маслом (АМТ-300) необхідно перевіряти його температуру спалаху і температуру самозаймання. Аналіз масла на температуру спалаху (нормально  $135 \pm 5^\circ\text{C}$ ) слід здійснювати не рідше одного разу на два дні, а на температуру самозаймання (нормально  $330 \pm 5^\circ\text{C}$ ) – не рідше одного разу на місяць.

При пуску установки ВОТ необхідно стежити за циркуляцією теплоносія в системі, плавністю її розігрівання (не більше  $12 \dots 20^\circ\text{C}/\text{год}$ ), температурним режимом котла і теплообмінних апаратів. За відсутності циркуляції ВОТ в системі зупиняють роботу пальників і електронагрівачів. Котли наповнюють теплоносієм, який попередньо нагрітий для його осушення до температури  $200^\circ\text{C}$ .

Трубопроводи установок ВОТ захищають теплоізоляцією. Теплообмінну поверхню казанів і нагрівальних електричних труб періодично очищають від коксоподібних продуктів розкладу.

Для зменшення небезпеки підвищення тиску і прогару, радіантні труби розташовують так, щоб факели полум'я пальників не торкалися. Доцільним є автоматичне регулювання температури ВОТ шляхом зміни кількості палива, що спалюється, а при електрообігріві – шляхом зміни сили струму.

Щоб уникнути перегріву рідини, її розкладання і прогару теплообмінної поверхні рівень теплоносія в казанах з вогневим обігрівом і з електрообігрівом, а також в нагрівальних сорочках апаратів при електрообігріві не повинен бути нижчим за встановлену межу.

Необхідно стежити, щоб не відбувалося утворення корків застиглому ВОТ або продуктів його термічного розкладання в лініях скидання пари через запобіжні клапани, а також в лініях аварійного зливу рідкого ВОТ. При тривалій зупинці апаратів, які обігриваються дифенільною сумішшю (даутерм), необхідно вилучити теплоносії зі всієї системи.

При використанні даутерму з'єднання труб в системі повинно бути зварним, у випадку використання роз'ємних з'єднань використовують щільні і термостійкі прокладкові матеріали. Насоси повинні бути з торцьовим ущільненням чи з гідравлічним ущільненням сальників.

При електрообігріві казанів необхідно контролювати герметичність захисних трубок нагрівальних елементів, стан електроізоляції спіралей. Контактна система електрообігріву казанів, якщо вона має відкрите виконання, повинна знаходитись в герметичному кожуху, всередині якого повинен бути надлишковий тиск повітря або інертного газу. При падінні тиску газу живлення казанів електричним струмом має автоматично припинятися.

Установки ВОТ обладнуються системою аварійного зливу теплоносія за межі котельні.

Кожен агрегат захищають запобіжним клапаном, перед яким для запобігання пригорянню тарілок встановлюють захисну мембрану. Відвідні лінії від запобіжних клапанів на казанах і апаратах з місцевим обігрівом ВОТ обладнують пристроями для вловлення викидних парів теплоносія.

Для зменшення пожежної небезпеки установок замість горючих і термічно нестійких теплоносіїв використовують менш пожежонебезпечні і більш термічно стійкі.

Приготування ВОТ необхідного складу здійснюється поза приміщенням котельних з вогневим обігрівом, у таких приміщеннях і у цехах забороняється зберігати запас нерозплавлених рідких компонентів.

Розширювальні бачки, ємності, обладнання для живлення казанів свіжим ВОТ, циркуляційні насоси розташовують в окремих приміщеннях, які захищають системами пінного чи порошкового гасіння, а у паливний простір і у димар підводять водяну пару. Систематично перевіряють наявність первинних засобів пожежогасіння та слідкують за справністю наявних стаціонарних систем пожежогасіння у приміщеннях установки. При виникненні пожежі в котельні необхідно припинити живлення казанів паливом або електричною енергією.

### **Протипожежний захист процесів нагрівання електричним струмом**

Електронагрівальні елементи, дроти і кабелі, захисні, пускові і регульовальні прилади повинні відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Робота систем електрообігріву з несправним або невідповідним до вимог ПУЕ електроустаткуванням не дозволяється.

Перед пуском установки електрообігріву горючих рідин і газів необхідно переконатися в наявності продукту, що нагрівається, в апараті. Включати електрообігрів при зниженому рівні рідини в апараті або за відсутності циркуляції продукту, що нагрівається, не дозволяється.

Необхідно стежити за тим, щоб електричні індукційні печі експлуатувалися тільки за наявності справно діючих блокувальних контактів, що вимикають струм при відкритті кришок завантажувальних вікон.

Електронагрівальні головки гомогенізаційних, грануляційних, формувальних, відливальних машин і пресів допускаються до експлуатації тільки за наявності справно діючої місцевої витяжки для уловлювання

продуктів розкладання і випаровування, що виділяються, із справним блокуванням, що виключає можливість ввімкнення машин в роботу при непрацюючій місцевій витяжці. За відсутності витяжки слід негайно припинити всі операції, пов'язані з обігрівом речовин.

При електрокрекінгу газів не можна допускати замикання електричної дуги на корпус апарата щоб уникнути його прогорання і займання газу, що виходить назовні.

Не можна допускати підвищення понад встановлену норму температури газу, що подається для загартовування.

Потрібно стежити, щоб випромінюючі поверхні електронагрівальних радіаційних печей були справними і речовини, що нагріваються, не стикалися з поверхнею випромінювання. Не можна допускати перевищення встановленої температури поверхні випромінювання.

При експлуатації дугових печей треба стежити за тим, щоб полум'я не проривалось із завантажувальних, розвантажувальних та інших отворів.

Переносні електрогрілки для обігріву горючих рідин слід застосовувати тільки у виняткових випадках, використовувати їх для підігріву ЛЗР не дозволяється.

Електрогрілки перед ввімкнення електричного струму потрібно повністю занурювати в рідину так, щоб шар рідини над грілкою був не менше 10 см.

Зливати нагріті рідини з апаратів періодичної дії можна тільки після виключення і охолодження системи обігріву.

При загоряннях і пожежах на установках електрообігріву необхідно передусім відключити живлення електроенергією.

### **Запитання та завдання для самоконтролю**

1. У яких технологічних процесах використовується нагрівання та охолодження?
2. Які Ви знаєте способи перенесення тепла? Охарактеризуйте їх.
3. Які теплоносії та холодоагенти використовуються в процесах нагрівання та охолодження? Охарактеризуйте їх пожежну небезпеку.
4. Назвіть види апаратів, які призначені для проведення теплових процесів.
5. Яка відмінність між нагріванням «гострою» парою та «глухою» парою?
6. Яких вимог пожежної безпеки слід дотримуватися при використанні пристроїв для нагрівання «гострою парою»?
7. Будова та принцип роботи підігрівачів теплообмінників для нагрівання водяною парою і гарячими продуктами переробки.
8. Охарактеризуйте пожежну небезпеку та заходи профілактики підігрівачів – теплообмінників.
9. Назвіть переваги використання насиченої водяної пари в якості теплоносія.
10. У якому випадку для нагрівання використовують теплообмінники з температурними компенсаторами?

11. Визначити напруження в корпусі і трубках кожухотрубчастого теплообмінника з нерухомими трубними решітками. Довжина трубок  $l=5$  м, число трубок  $z=121$  шт., зовнішній діаметр трубок  $d_3=0,025$  м. Тиск в трубному просторі  $P_m = 1,6$  МПа; в міжтрубному просторі  $P_m=0,6$  МПа. Корпус і труби виготовлені з сталі МСт.3. Товщина кожуха  $S_k=0,004$  м, внутрішній діаметр кожуха  $D_6=0,4$  м, температура кожуха  $130^\circ\text{C}$ , товщина трубок 2 мм, температура трубок  $60^\circ\text{C}$ .
12. Назвіть галузі промисловості, де використовується вогневий підігрів для нагрівання горючих і негорючих речовин.
13. Будова трубчастих печей.
14. Які заходи пожежної профілактики необхідно передбачити при запуску вогневих печей в роботу?
15. В чому полягає пожежна небезпека вогневих печей?
16. Назвіть вимоги до розташування вогневих трубчастих печей.
17. Який вид системи аварійного зливу використовується у вогневих печах для евакуації ЛЗР із змійовика?
18. Які заходи профілактики здійснюють при експлуатації вогневих печей?
19. Які пристрої необхідні для противибухового захисту вогневих печей?
20. Які групи високотемпературних теплоносіїв Ви знаєте? Назвіть їх переваги та недоліки.
21. Наведіть приклади високотемпературних органічних теплоносіїв та охарактеризуйте їх пожежонебезпечні властивості.
22. Як часто при обігріванні ароматизованим маслом необхідно перевіряти його температуру спалаху і самозаймання?
23. У якому випадку установки ВОТ обладнуються системою аварійного зливу теплоносія за межі котельні?
24. Які заходи профілактики необхідно застосовувати при нагріванні ВОТ?
25. Назвіть основні вимоги пожежної безпеки при нагріванні електричним струмом.

## РОЗДІЛ 11. ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРОЦЕСІВ ФАРБУВАННЯ

### 11.1. Загальна характеристика способів фарбування

На думку багатьох вчених світу серед проблем, які повинно вирішити людство, проблема захисту від корозії посідає друге місце після проблеми захисту довкілля. Загальні втрати металу від корозії в індустріальних країнах вже порівнюють до металовкладень у розвиток найбільших галузей промисловості. Корозія призводить до аварій, простоїв, зниження продуктивності обладнання та якості продукції. Проблема захисту від корозії винятково актуальна в Україні, особливо за сучасних економічних умов, через дефіцит металу, енергетичних ресурсів. Основним способом захисту від корозії металів є використання лакофарбових покриттів. Вироби лакофарбової промисловості використовують також і для декоративного оздоблення, для захисту від гниття деревини, шкіри.

На підприємствах лакофарбової промисловості виготовляють різноманітні лаки, фарби, емалі, оліфи та різні розчинники, розріджувачі, сикативи, шпатлювальні суміші тощо. Асортимент продукції цієї галузі становить більше 2500 найменувань. Широко застосовуються в техніці нітроцелюлозні, поліефірні, поліуретанові, бітумні, пентафталеві, кремнійорганічні лаки і емалі; емалі на основі вінілових і епоксидних смол; масляні, перхлорвінілові, поліакрилатні, алкідні, бутадієнстирольні фарби.

Лакофарбовими називають природні чи штучні синтетичні матеріали, які наносяться в рідкому стані на поверхню виробів тонким шаром і утворюють після затверднення покривні плівки.

На даний час для лакофарбових покриттів використовують композиції, які містять леткі компоненти (органічні розчинники і вода); композиції, які не містять летких компонентів, виготовлені на основі рідких мономерів, полімерів, що наносяться в стані розплаву; порошкові. Більше 90% промислових лаків, фарб містять розчинники.

Вихідними речовинами для виробництва лакофарбових матеріалів є плівкоутворювачі, пластифікатори, розчинники, розріджувачі, пігменти, наповнювачі, сикативи.

Плівкоутворювачі створюють на виробках тонку і щільну плівку. Прикладом плівкоутворювачів є оліфи – натуральні, напівнатуральні, комбіновані, синтетичні. Виготовляють їх з рослинних олій, які висихають (лляної, конопляної, горіхової, тунгової), з олій, які напіввисихають (соняшникова) і з олій, які не висихають (рицинової). Натуральні оліфи (ллянні, конопляні) виготовляють з окиснених чи полімеризованих рослинних олій і сикативу. Напівнатуральна оліфа (оліфа-оксоль) – розчин окисованої рослинної олії і сикативу в уайт-спіриті. Комбінована оліфа – продукт полімеризації і зневоднення олій, що висихають і напіввисихають. До синтетичних оліф належить гліфталева, пентафталева, сланцева. Гліфталева оліфа – прозора рідина, яку отримують при взаємодії рослинних олій, гліцерину, фталевого ангідриду з додатком сикативу і розводять уайт-спіритом. Пентафталеву оліфу



отримують розведенням пентафталевої смоли уайт-спіритом з модифікацією рослинними оліями. Сланцева оліфа – рідина темного кольору, яка є продуктом окиснення сланцевих масел в розчиннику.

Розчинники (бензин, уайт-спірит, бензол, толуол, ксилол, різноманітні спирти, скипидар, сольвент-нафта, ацетон, ефіри) використовуються для розчинення плівкоутворювачів. Розчинений лакофарбовий матеріал наносять тонким шаром на виріб, що фарбується. Розчинник після фарбування випаровується, а розчинена в ньому речовина утворює на поверхні щільну блискучу плівку. Розчинник не повинен залишати нелеткого залишку, крім того, він повинен мати визначену швидкість випаровування.

Розріджувачі (будь-які легкозаймисті та горючі рідини) не розчиняють плівкоутворювачі, а розріджують лакофарбові склади до робочої консистенції (зменшують в'язкість). За своїми фізико-хімічними властивостями розріджувачі суттєво не відрізняються від розчинників. Для отримання розчинника або розріджувача змішують кілька речовин у визначеному співвідношенні.

З погляду пожежної небезпеки розчинники і розріджувачі – найбільш небезпечні складові частини лакофарбових матеріалів. Пожежна небезпека багатокомпонентних розчинників визначається на основі даних про їх складові частини. Необхідно пам'ятати, що більша кількість небезпечного компонента може збільшувати пожежну небезпеку суміші в цілому.

Лаки і фарби, виготовлені на розчинниках і розріджувачах з низькою температурою сплаву, що містять в своєму складі більше горючих плівкоутворювачів, відносяться до матеріалів підвищеного ступеня пожежонебезпеки. Більшість розчинників і розріджувачів легколеткі і при незначних кількостях в повітрі можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, температурний діапазон займання яких від  $-56$  до  $+68$  °С. Більшість розчинників випаровуючись утворюють відносно щільні пари, які важчі за повітря.

Пігменти – тонкоподрібнені неорганічні чи органічні речовини, нерозчинні у воді і дисперсних середовищах, які надають лакофарбовим матеріалам забарвлення. За походженням пігменти поділяють на природні (неорганічні) – графіт, діоксид марганцю, мумія коричнева, охра; синтетичні неорганічні – білила цинкові, зелень хромована, сажа, ультрамарин синій; синтетичні органічні – пігмент червоний, голубий флотаційний, жовтий світлотривкий; металічні пігменти – золотиста бронза, алюмінієва пудра, цинкова пудра, мідний порошок.

Сикативи – каталізатори полімеризації і окиснення. Додаток сикативу пришвидшує утворення твердої поверхні плівкоутворювача. Тверді сикативи – здебільшого оксиди металів ( $MnO_2$ ,  $PbO$ ), солі металу змінної валентності. Рідкі сикативи – розчини твердих сикативів у скипидарі (65...50%).

Наповнювачі – дисперсні неорганічні природні чи синтетичні речовини, які нерозчинні у воді, розчинниках, дисперсних середовищах. Приклади наповнювачів – аеросил, тальк, розмелений пісок, пилоподібний кварц тощо. Наповнювачі підвищують адгезію з основою, надають лакофарбовим покриттям міцності, водо-, вогне-, атмосферостійкості, блиску і матовості.

Суміші вказаних речовин дають можливість отримати: лаки – розчинники плівкоутворювачів у органічних розчинниках; фарби – суміші розчинників,

плівкоутворювачів і пігментів; емалі – суспензії тонкоподрібнених пігментів та наповнювачів в лаках.

Перед лакуванням (фарбуванням) металічні деталі та вироби очищають від продуктів корозії механічними, хімічними, ультразвуковими способами і знежирюють промиванням розчинниками чи негорючими миючими складами.

Зазвичай лакофарбове покриття складається з шару ґрунту, що безпосередньо прилягає до поверхні, і фарбувальних шарів, яких може бути декілька. Після нанесення кожен з шарів висушують. В загальному технологічна схема процесу фарбування має вигляд: непофарбований виріб – знежирення виробу – сушіння виробу – ґрунтування – сушіння – фарбування – сушіння.

Нанесення рідких лакофарбових матеріалів на поверхню здійснюється різними способами (рис.11.1), такими як розпиленням (пневматичним, електростатичним, безповітряним з підігрівом і без підігріву лакофарбового складу, аерозольним), зануренням, струменевим обливанням, електроосадженням, за допомогою пензлів, валиків тощо.

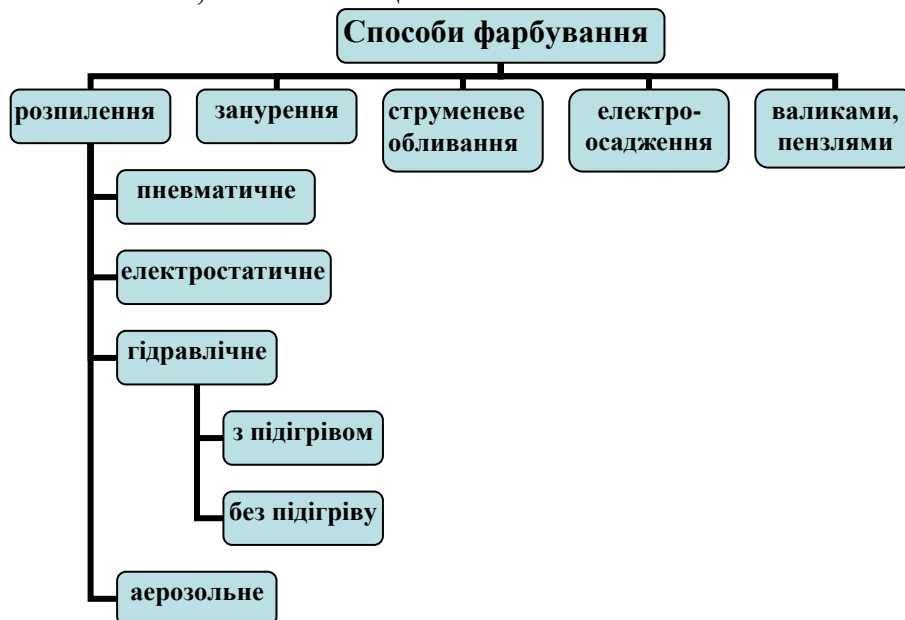


Рисунок 11.1 – Класифікація способів фарбування

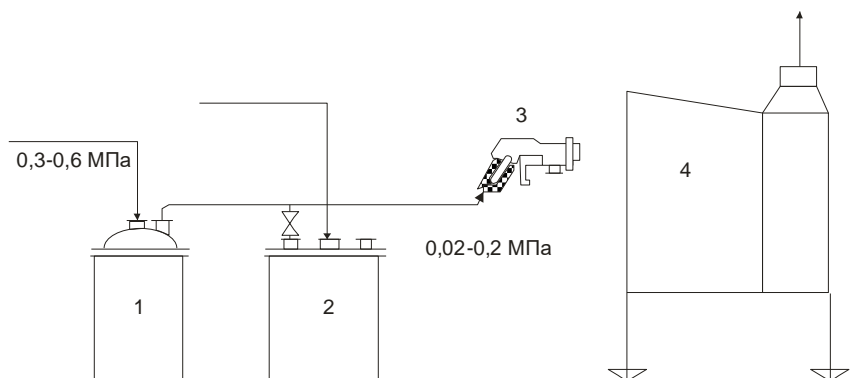
Такі способи фарбування, як зануренням, пензлями і пневматичним розпиленням зменшились до 30%. Водночас зростає застосування таких методів, як безповітряне розпилення, обливання (у меблевій промисловості до 60%), струменеве обливання і електрофарбування з впровадженням нової фарбувальної техніки.

При фарбуванні повітряним (пневматичним) розпиленням (пульверизацією) лакофарбовий матеріал за допомогою стиснутого повітря розпилюють на дрібні краплі і рівним шаром наносять на поверхню найрізноманітніших виробів, що фарбуються. Існує ручний і автоматизований варіанти пневматичного розпилення, які застосовують самостійно чи комбінують з іншими способами нанесення. У цьому і є перевага такого методу. Недоліком його є підвищена витрата розчинників для досягнення необхідної в'язкості, великі втрати лакофарбового

матеріалу через утворення „фарбового туману”, неповне потрапляння на поверхню, що фарбується, необхідність використання дорогих розпилювальних установок і кабін з витяжними пристроями; велика ймовірність утворення вибухопожежо-небезпечних сумішей парів розчинників з повітрям як всередині камер повітроводів, так і в приміщеннях, підвищена шкідливість середовища для працюючих.

Втрати ЛФМ через утворення „фарбового туману” для різних розпилювачів складають від 15 до 70%. Вони залежать від діаметра сопла, тиску повітря, що подається в розпилювач, відстані від поверхні, що фарбується, і продуктивності.

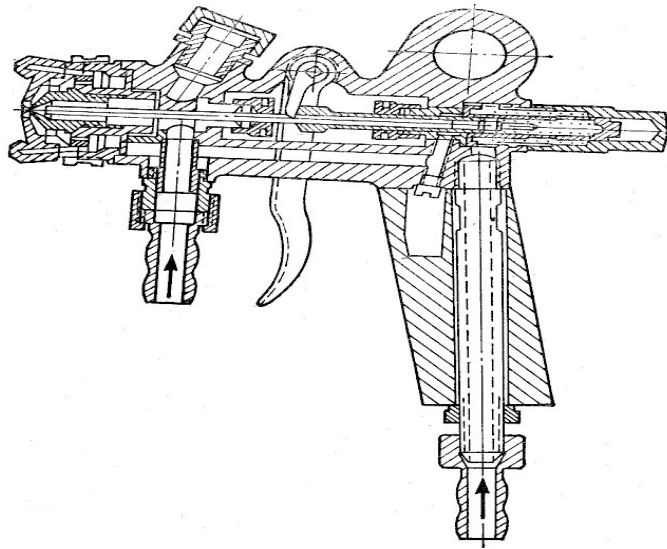
Більшість розпилювачів працює під тиском повітря 0,2...0,6 МПа із середньою продуктивністю 70 м<sup>3</sup>/год, діаметр струменя фарби 0,1 м. У масловодовідокремлювачі (1) (рис.11.2) повітря очищають від вологи, масла і механічних забруднень. Лакофарбові матеріали можуть надходити до фарборозпилювача (3) з стакана місткістю 0,5...0,9 л, з фарбонагнітального бака (2) чи з системи централізованої подачі під тиском 0,02...0,2 МПа.



**Рисунок 11.2** – Схема установки для нанесення лакофарбового матеріалу пневматичним розпиленням:

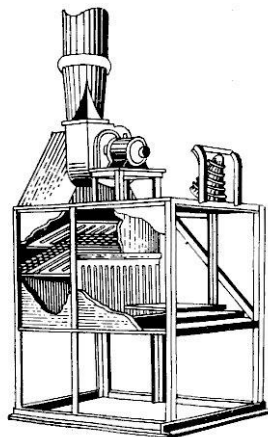
1 – масловодовідокремлювач; 2 – фарбонагнітальний бак; 3 – фарборозпилювач; 4 – розпилювальна камера

В промислових установках застосовують різні фарборозпилювачі зовнішнього змішування: КР-10, КР-20, ЗІЛ, КРУ-1, СО-71. Широкого застосування набув фарборозпилювач типу КР (рис. 11.3).



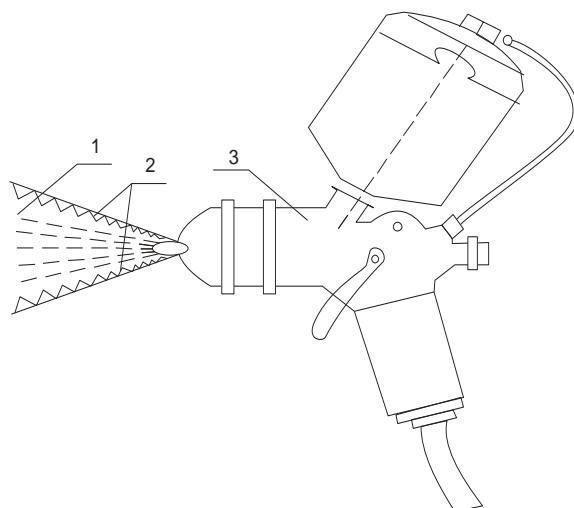
**Рисунок 11.3** – Розріз фарборозпилювача типу КР

Для створення безпечних санітарно-гігієнічних умов при фарбуванні і для вилучення вибухопожежонебезпечних парів за межі цеху застосовують спеціальні фарбувальні камери, які обладнані вентиляційною установкою і фільтрами для вловлювання відходів і очищення повітря (рис.11.4).



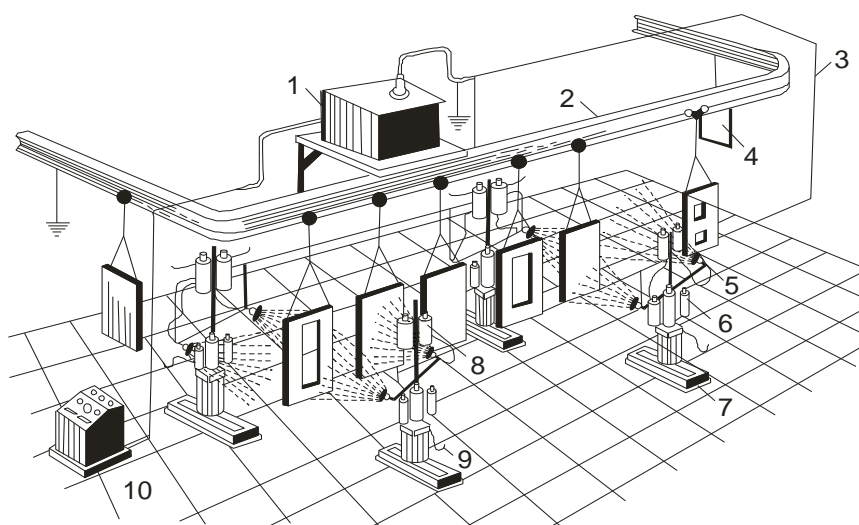
**Рисунок 11.4** – Фарбувальна камера з обертальним колесом

Застосовуються також безтуманні пістолети – розпилювачі БТО, що мають спеціальну голівку для розпилення (рис.11.5). Деякі безтуманні розпилювачі працюють з повітряною конусоподібною завісою і порівняно невеликим тиском ( $1 \dots 1,5 \text{ кг/см}^2$ ), що зменшує силу удару струменя і розпилення фарби у довкілля.



**Рисунок 11.5** – Розпилення фарби безтуманним розпилювачем:  
1 – струмінь фарби; 2 – струмінь повітря; 3 – розпилювач

Фарбування в електричному полі високої напруги характеризується високою якістю покриттів, економічністю (втрати ЛФМ не перевищують 2...5%), можливістю автоматизації процесу і високою продуктивністю (рис.11.6).



**Рисунок 11.6** – Схема установки для фарбування методом електростатичного розпилення:

- 1 – високовольтний випрямний пристрій (генератор і випрямник); 2 – підвісний конвеєр;  
3 – високовольтна мережа; 4 – вироби, які фарбуються; 5 – чашоподібні розпилювачі;  
6 – пневматичні циліндри; 7 – ізолятори-стійки; 8 – бачки для фарби; 9 – шланги для подачі стисненого повітря; 10 – пульт управління

Суть процесу полягає в розпиленні лакофарбових матеріалів з одночасним наданням утвореним аерозольним частинкам електричного заряду, завдяки якому вони рівномірно осідають на протилежно зарядженому виробі. Випрямник струму дає можливість отримати постійний струм високої напруги (80...130 кВ). Негативний полюс від випрямника подають до розпилювача, а позитивний – на фарбувальний виріб.

Шини високовольтної сторони мають заземлення, що знімає залишкові заряди з електричних сіток, електричних розпилювачів і шинопроводів після вимикання високої напруги. На відміну від камер пневматичного розпилення електрофарбувальні камери не мають гідрофільтрів.

В електричному полі фарбують, як правило, вироби з металу, деревини, пластмас, гуми. Підвищена електрична провідність виробів досягається поверхневим зволоженням, обробкою розчинами ПАР, нанесенням спеціальних струмопровідних ґрунтовок тощо.

Для оцінки небезпеки процесів фарбування виробів необхідно знати пожежонебезпечні властивості застосовуваних речовин і матеріалів, режим і умови протікання процесу фарбування, стан технічного устаткування.

Безповітряне гідравлічне розпилення фарбових складів – більш прогресивний метод фарбування виробів. Його використовують при фарбуванні великогабаритних виробів, які неможливо укласти у фарбувальні камери, внаслідок чого фарбування проводять на місцях складання, зокрема, при фарбуванні середньо- і великогабаритних виробів нескладної форми (вагонів, турбін, суден), а також будівельних об'єктів.

Безповітряне гідравлічне розпилення базується на перетворенні потенційної енергії фарби, що перебуває під тиском 4,5...25 МПа, в кінетичну енергію при виході її з сопла розпилювача. Нагрітий до 60...100°C чи в холодному стані ЛФМ (18...25 °C) під тиском подають до спеціального сопла, в якому швидкість досягає величини, вищої за критичну при даній в'язкості. Перепад тисків підвищує пружність парів нагрітих розчинників, сприяючи миттєвому випаровуванню їх легкої частини, подрібненню лакофарбового матеріалу.

У результаті нагрівання в'язкість і поверхневий натяг матеріалу зменшуються, що дає можливість розпилювати більш в'язкі, ніж при пневматичному розпиленні, лакофарбові матеріали. Питома витрата розчинників при безповітряному розпиленні (у порівнянні з пневматичним) скорочується на 15...20%, ЛФМ – на 25...30% через зменшення втрат на туманоутворення.

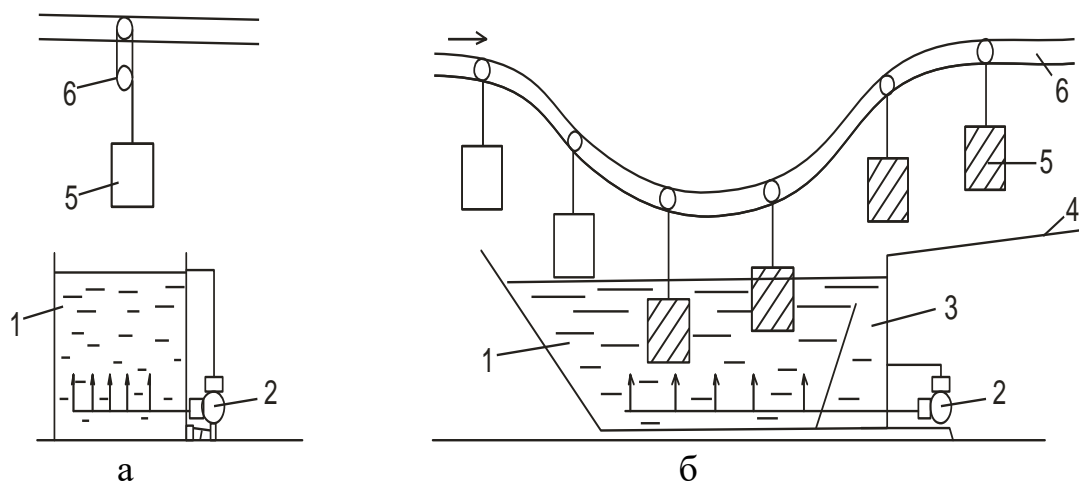
Усе це дає можливість використовувати більш просту конструкцію кабін і установок для витяжки і очищення повітря, скоротити час сушіння, зменшити пожежну небезпеку процесу (у початковий момент виходу фарби із сопла випаровується від 10 до 50% розчинників, тоді як при повітряному розпиленні – 5...10%).

Метод розпилення під високим тиском має ряд переваг перед методом пневматичного розпилення, зокрема, зменшення витрат розчинників на 15...20%, лакофарбових матеріалів на 25...30% в результаті зменшення втрат на туманоутворення. Однак, у фарборозпилювачах високого тиску необхідна герметичність і міцність всіх з'єднань.

За сучасними технологіями необхідно, щоб фарбування виробів здійснювалося безпосередньо на потоці при конвеєрному складанні машин і апаратів.

Струминний облив і занурення застосовують у багатьох галузях промисловості (автомобільній, приладобудівній, сільськогосподарському

машинобудуванні), оскільки їх використання дає можливість автоматизувати процеси фарбування. Занурюючи виріб у ЛФМ чи обливаючи ним виріб, практично фарбують всі ділянки поверхні. При фарбуванні зануренням в умовах дрібносерійного виробництва вироби занурюють у ванни з ЛФМ з допомогою підйомників, тельферів чи вручну (рис.11.7).



**Рисунок 11.7** – Схема установок для фарбування зануренням:

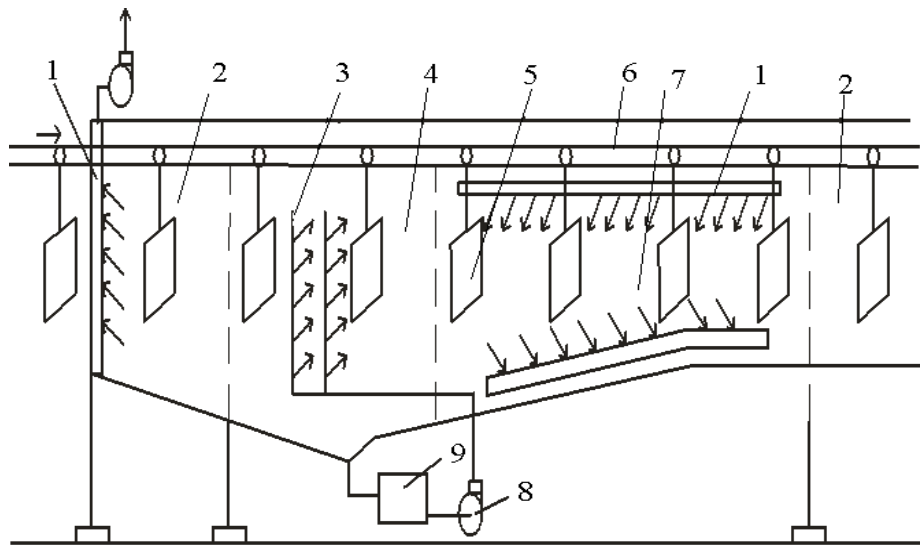
а – з ручним зануренням виробів; б – з конвеєрним зануренням виробів; 1 – ванна; 2 – насос; 3 – кишня; 4 – стічний лоток; 5 – виріб; 6 – пристрій для переміщення виробів (тельфер, конвеєр)

При масовому виробництві вироби у ванну подають конвеєрами, а самі ванни розташовують у фарбувальні камери, які обладнані витяжною вентиляцією. Фарбування зануренням завдяки простоті і високій продуктивності широко застосовують як у немеханізованому, так і в механізованому виробництві. Особливо розповсюджений спосіб занурення при конвеєрній обробці виробів, що після фарбування автоматично надходять для сушіння (у камери, тунелі тощо).

Невеликі вироби при періодичній роботі цехів фарбуються у ваннах ємністю до  $0,5 \text{ м}^3$ . Такі ванни обладнують бортовою витяжкою з кришками, які закривають ванну на період перерви в роботі. Якщо за умовами технології потрібні ванни ємністю більш  $0,5 \text{ м}^3$ , то необхідно встановити спеціальну фарбувальну камеру з витяжною вентиляцією.

Струминне обливання за своєю фізичною суттю мало відрізняється від занурення. Воно застосовують при фарбуванні деталей, що не мають кишень, заглиблень, тупикових отворів, у яких може нагромаджуватись і не випливати фарба.

Обливання, на відміну від занурення, дає можливість обходитись меншою в 5...10 разів кількістю ЛФМ, що одночасно задіяна у виробництві. Суть струминного обливання полягає в тому, що виріб обливають фарбою і подають у камеру або тунель, в атмосфері яких знаходиться певна кількість пари розчинника: зайва фарба стікає, а та, що залишилась, рівномірно покриває поверхню деталі. Схема установки для фарбування виробів струминним обливанням наведена на рисунку 11.8.



**Рисунок 11.8** – Схема установки для фарбування виробів струминним обливанням:

1 – повітряні завіси; 2 – вхідний і вихідний тамбури; 3 – контур з соплами; 4 – камера обливання; 5 – виріб; 6 – конвеєр; 7 – паровий тунель; 8 – насос; 9 – фарбувальний бак

Повітряні завіси перешкоджають виходу парів розчинника в цех. Фарбу подають в камеру через сопла (насадки) і обливають вироби. Надлишок фарби стікає у встановлений під камерою фарбувальний бак, який оснащений насосом, що подає його знов для фарбування. Паровий тунель обладнаний системами рециркуляції і витяжної вентиляції, завдяки чому підтримується рівномірна по всьому його об'єму концентрація парів розчинника і викид їх надлишків в атмосферу. Фарба надходить у фарбувальний бак по трубах з резервуара, що розташований поза фарбувальним приміщенням. При аварії фарба зливається в аварійну підземну посудину, що також розташована за межами фарбувального приміщення.

Фарбування довгих виробів, що мають постійний переріз по довжині (дріт, олівці, карнизи), здійснюють протягуванням їх через ванну з ЛФМ. Надлишок матеріалу при цьому вилучають обмежувальними шайбами з гуми, що перекривають вхід і вихід виробів з ванни.

#### **Фарбування з допомогою пензлів, валиків**

Плоскі вироби (папір, картон, полімерні плівки, бляху тощо) фарбують з допомогою валиків. Валкові машини, як правило, складаються з трьох фарбувальних (наносна, регульовальна, контактуюча) і одного опорного валка. Як правило, валкові машинки є частиною автоматизованих ліній для фарбування листових матеріалів.

Ручні способи нанесення ЛФМ (пензлями, шпателями, тампонами, валиками, з використанням аерозольних балонів) використовують для виправлення дефектів, при ремонті приміщень, у побуті. Останнім часом використовуються ЛФМ в аерозольній упаковці (місткість балонів, як правило, – 0,15...1 л). Нанесення лаків і фарб при цьому здійснюють розпиленням з відстані 250...350 мм до поверхні, що фарбується.



## 11.2. Протипожежні вимоги до процесів фарбування

Щоб визначити наскільки небезпечним є той чи інший процес фарбування, необхідно знати пожежонебезпечні властивості речовин і матеріалів, які використовуються, режим і умови протікання процесу фарбування, стан технологічного обладнання.

Причини утворення горючого середовища, джерел запалювання і розвитку пожежі визначаються однаковими факторами незалежно від способу фарбування виробів. Як приклад розглянемо один з найбільш пожежонебезпечних процесів фарбування – розпилення лакофарбових матеріалів.

Серед способів фарбування при використанні однакових за складом лаків і фарб пневматичне розпилення лакофарбових матеріалів характеризується великою небезпекою з точки зору утворення горючого середовища і можливості виникнення пожежі. Це пояснюється значною площею випаровування та виділенням у довкілля парів розчинників та плівкоутворювачів. При розпиленні фарби стиснутим повітрям біля робочого місця утворюється "фарбовий туман" – найменші завислі частинки лаку і фарби. Вони осідають у вентиляційних каналах, повітропроводах, на обладнанні, будівельних конструкціях і збільшують небезпеку виникнення і розвитку пожежі.

При аналізі пожежної безпеки процесу фарбування найбільш важливим питанням є встановлення можливості виникнення вибухонебезпечних сумішей парів розчинників або розріджувачів з повітрям. Для цього перш за все необхідно порівняти температурні межі займання розчинників та розріджувачів лакофарбових матеріалів з температурою довкілля або з робочою температурою при фарбуванні. Розрахунок можливості утворення горючого середовища в процесах фарбування повинен базуватися на витратах лакофарбових матеріалів, які використовуються при покритті виробу (або групи виробів) з врахуванням їх властивостей.

Втрата лакофарбових матеріалів при фарбуванні може бути зумовлена технологічними й організаційними причинами. Технологічні втрати складаються із втрат на туманоутворення при розпиленні лакофарбових матеріалів і вихід розпиленого струменя за габарити виробу, потрапляння фарби на підвісні частини конвеєра і фарбувальної камери, винесення матеріалу із постів фарбування самими виробами.

Втрати з організаційних причин пов'язані з недостатньою організацією зберігання, транспортування, розливу та перекачки лакофарбових матеріалів.

Чітка організація технологічного процесу, застосування найновішої техніки, автоматики і сучасних методів нанесення лакофарбових матеріалів на поверхні виробу сприяє значному зменшенню пожежної безпеки при фарбуванні. Слід зазначити, що при всіх способах фарбування є значні втрати лакофарбових матеріалів внаслідок недосконалої технології, апаратів, машин та обладнання, недостатньої кваліфікації обслуговуючого персоналу і низької якості лаків та фарб.

Якщо врахувати, що в більшості лаків і фарб міститься до 50...60 % легкозаймистих розчинників, а в окремих марках і групах вони становлять 70...80 % і навіть 90%, то небезпека утворення вибухонебезпечних концентрацій стає очевидною.

Джерела запалювання від електричного струму, статичної електрики, вторинних проявів блискавки практично в усіх випадках сприяють займанню

горючого середовища, наявного в фарбувальних агрегатах і установках. Небезпечним є вплив і теплової енергії полум'я та інших джерел запалювання, які мають температуру 600°C і більше. Нерідко трапляються випадки самозаймання відходів лаків та фарб. Зокрема, часто виникає пожежа в пульверизаційних камерах нітрофарби внаслідок теплового самозаймання нітродіоксидів. Осаджуючись на стінках камер у вигляді пористої маси з активною поверхнею вони легко окиснюються і самозаймаються.

В процесі проектування цехів фарбування необхідно враховувати вимоги будівельних норм і правил. Фарбувальні цехи (дільниці, приміщення) розташовують в будівлях I, II та IIIa (одноповерхових) ступенів вогнестійкості біля зовнішніх стін з віконними отворами або на верхніх поверхах у багатоповерхових будівлях. Фарбувальні цехи можуть розташовуватися в загальних виробничих корпусах або в самотійних будівлях (приміщеннях). Від інших виробничих приміщень цехи фарбування повинні відгороджуватись протипожежними стінами з межею вогнестійкості не менше 2,5 годин. В багатоповерхових будівлях цехи фарбування повинні знаходитись на верхніх поверхах, при цьому межа вогнестійкості міжповерхового перекриття приймається – не менше 1 години, перегородки із цегли – не менше 0,25 годин, дверей – не менше 0,75 годин. Висота приміщень фарбувальних цехів приймається не меншою 4 м. Підлогу приміщень фарбування і сушки необхідно виконувати маслорезистентною, з негорючих матеріалів та іскробезпечною.

Розташування фарбувальних цехів у підвальних і цокольних приміщеннях не дозволяється. Якщо загальна площа фарбувальних камер не перевищує 200 м<sup>2</sup> або 10 % площі приміщення, їх можна розташовувати в загальному потоці виробництва.

Фарбозаготівельне відділення повинно розташовуватись в ізольованому приміщенні з негорючими огорожувальними конструкціями з межею вогнестійкості не менше 1,5 год., обов'язково біля зовнішньої стіни одноповерхової будівлі з віконним отвором і самотійним виходом назовні. Для зберігання запасу лаків і фарб біля фарбозаготівельного відділення повинна бути влаштована комора з самотійним виходом.

Внутрішні поверхні стін фарбувальних приміщень на висоту не менше 2 м облицьовують негорючим матеріалом.

Фарбувальні цехи повинні мати протипожежне водопостачання і безпечну каналізацію, крім того, вода із фарбувальної камери повинна пропускатись через вловлювачі або відстійники з гідравлічним затвором. З точки зору пожежної безпеки найбільш безпечними є напівзакриті камери з робочими отворами, які оснащені витяжними вентиляційними установками, зблокованими з системою подачі фарби.

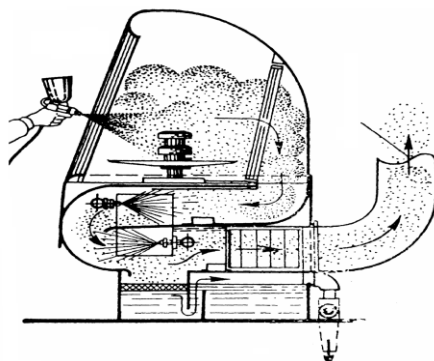
Фарбувальні та фарбоприготувальні приміщення обладнують самотійною примусовою припливно-витяжною вентиляцією та системами витяжки з фарбувальних камер, ванн занурення, установок обливання тощо. При відключених системах вентиляції фарбувальні роботи проводити заборонено. Передбачено захисне блокування, що унеможливує подавання матеріалів (або стисненого повітря) до розпилювальних пристроїв у разі припинення роботи

вентиляції. Витяжні вентиляційні установки фарбувальних приміщень повинні мати звукову або світлову сигналізацію, яка сповіщає про припинення їх роботи. У фарбувальних камерах з електростатичним полем при відключенні витяжної вентиляції повинна автоматично зніматися робоча напруга.

Ванни місткістю до  $0,5 \text{ м}^3$  для фарбування виробів і деталей способом занурення повинні бути обладнані бортовою витяжкою і кришками, які щільно закриваються. Ванни для фарбування місткістю більше  $0,5 \text{ м}^3$  повинні мати спеціальне укриття, обладнане витяжною вентиляцією, що забезпечує розбавлення парів розчинника, які виділяються, до концентрацій, що не перевищують 20% нижньої концентраційної межі поширення полум'я.

Роботи, пов'язані з розпиленням лакофарбових матеріалів, повинні проводитися в спеціальних камерах. Камери фарбування, ванни, шафи і сушарки необхідно обладнати самостійною витяжною системою вентиляції, не пов'язаною із загальноцеховою вентиляцією.

Витяжна вентиляція камер фарбування не повинна експлуатуватися без водяних зрошувачів (гідрофільтрів) або інших ефективних пристроїв для уловлювання частинок фарби, щоб не забруднювати горючими відкладеннями внутрішню поверхню повітроводів. Безпечно з пожежної точки зору очищення повітря від фарбового пилу досягається в камерах з гідрофільтрами, форсунки яких створюють водяні завіси (рис. 11.9).



**Рисунок 11.9** – Фарбувальна камера з подвійним гідро фільтром

При конвеєрному зануренні витяжна вентиляція блокується з конвеєром. Фарбувальні камери, що працюють з частковою рециркуляцією, обладнують автоматичними газоаналізаторами з виконавчими механізмом, який відкриває дросель-клапани на вихлопному повітроводі рециркуляційної системи.

Фарбування великогабаритних виробів, як виняток, допускається на місцях складання без влаштування спеціальної вентиляції за умови провітрювання приміщення шляхом увімкнення витяжних вентиляційних установок і відкривання фрамуг.

Для зменшення можливості утворення горючих концентрацій замість пневматичного розпилення використовують більш безпечний метод безповітряного розпилення, а при неможливості його використання, для зменшення утворення «фарбового туману» – безтуманні розпилювачі. При використанні лакофарбових матеріалів, що полімеризуються, використовують автоматичне дозування його складових. Зменшують чи повністю виключають

горючі розчинники з лакофарбового матеріалу, використовуючи водорозчинні лаки, порошкові склади, лакофарбові системи, які полімеризуються безпосередньо на поверхні.

Здійснюють систематичне очищення фарбувальних камер, повітроводів витяжної і рециркуляційної систем вентиляції, обладнання, будівельних конструкцій і вентиляторів від відкладень ЛФМ і у кінці кожної робочої зміни прибирають з цехів замавлені витиральні матеріали. Відходи нітрофарб своєчасно вилучають з фарбувальних цехів.

Натяг транспортерів і приводних ременів контролюють, не допускаючи їх пробуксовування. Здійснюють контроль за температурою поверхні підшипників вентиляторів, двигунів і інших механізмів, що швидко обертаються, заземлюють металічні конструкції корпусів кабін, фарбопроводів, обладнання і повітроводів. Не використовують в цехах (відділеннях, установках) фарбування сталі інструменти, щоб уникнути іскроутворення. Скребки для очищення металевих поверхонь від засохлих лаків виготовляють з кольорових металів. Підлоги в приміщеннях, де здійснюють приготування ЛФМ і фарбування, виготовляють з негорючих матеріалів, що не утворюють іскор при ударі. Випалювання відкладень ЛФМ в повітроводах і фарбувальних кабінах здійснюють на спеціально відведених майданчиках поза фарбувальними цехами.

Робочі склади ЛФМ, розчинники, розріджувачі перекачують з тари насосами у вибухозахищеному виконанні. Вентилятори, що витягують горючі пари, мають бути іскробезпечного виконання. Будівлі, у яких розташовують фарбувальні цехи, обладнують блискавкозахистом.

При фарбуванні в електричному полі високої напруги конструкція підвісок деталей, які фарбуються, не допускає їх розгойдування в сторону електричних розпилювачів під час руху конвеєра. В пульті управління фарбувальної установки передбачають реле, що виключає утворення іскор в момент відхилення виробу на конвеєрі в сторону електричних розпилювачів.

Основними заходами, спрямованими на запобігання поширенню пожежі при фарбуванні виробів, є: обмеження кількості горючих матеріалів і речовин, що одночасно перебувають у фарбувальних цехах; своєчасне очищення обладнання від відходів ЛФМ; запобігання розливу ЛФМ, розчинників і розріджувачів; захист комунікацій від поширення полум'я і від руйнування при можливому вибуху. Фарбувальні камери та інше обладнання виготовляють з негорючих матеріалів.

Для мийки і знежирення виробів і деталей використовують негорючі склади, пасти, розчинники і емульсії, а також ультразвукові і інші безпечні в пожежному відношенні установки. Лише в тих випадках, коли негорючі склади не забезпечують необхідної за технологією чистоти обробки виробів, використовують ЛЗР чи ГР при суворому дотриманні заходів пожежної безпеки.

ЛФМ надходять на робочі місця в готовому вигляді. Складання і розведення всіх видів лаків і фарб здійснюють в спеціально виділеному, ізольованому приміщенні чи на відкритому майданчику, подачу ЛФМ на робочі місця здійснюють по трубопроводах.

Ванни для занурення, внутрішні поверхні стін, стелі і підлоги фарбувальних камер, посудини, а також шланги, що підводять повітря і робочі

склади ЛФМ до розпилювачів, регулярно очищають від осілих лакофарбових матеріалів вкінці кожної робочої зміни, а повітроводи вентиляційних систем – не рідше одного разу на два місяці. Фарбувальні камери, шафи, камери обладнують гідро фільтрами чи іншими ефективними пристроями для вловлення частинок горючих фарб і лаків. На витяжних повітроводах для зручності очищення їх внутрішньої поверхні влаштовують люки, що щільно закриваються.

Для ЛФМ, що знаходяться в посудинах і трубопроводах установок централізованої подачі, в установках для фарбування методом занурення і в інших технологічних посудинах з об'ємом заповнення більше 1 м<sup>3</sup>, на випадок пожежі чи аварії передбачають аварійний злив в підземний аварійний резервуар, який розташований за межами будівлі. Для запобігання поширенню полум'я трубопроводами, звільненими від ЛФМ, установки централізованої подачі після їх спорожнення заповнюють інертним газом, а аварійні посудини – продувають інертним газом.

Лакофарбові матеріали повинні надходити на робочі місця в готовому вигляді. Приготування і розведення лаків і фарб треба виконувати в спеціально виділеному, ізольованому приміщенні.

Лакофарбові матеріали дозволяється зберігати: у коморі при фарбоприготувальному відділенні – у кількості не більше тридобової потреби; у цеховій коморі – у кількості, що не перевищує змінну потребу; на робочих місцях – у кількості, яка не перевищує місткості фарбонагнітального бака чи стандартної фляги (40л).

На тарі з лакофарбовим матеріалом чи розчинником повинна бути наклейка з їх точною назвою та зазначенням пожежонебезпечних властивостей. Порожня тара з-під лакофарбових матеріалів повинна бути щільно закритою і зберігатися на спеціально відведених майданчиках.

Фарбонагнітальні бачки слід розташовувати поза камерами фарбувань. Справність бачків і їх захисної арматури, а також апаратури, для фарбування, зокрема гумових шлангів, необхідно періодично перевіряти. У разі їх несправності фарбувальні роботи проводити забороняється.

Для миття і знежирення виробів і деталей необхідно застосовувати негорючі склади, пасти, розчинники і емульсії, а також ультразвукові і інші безпечні в пожежному відношенні установки. Тільки в тих випадках, коли негорючі склади не забезпечують необхідної за технологією чистоти обробки виробів, допускається застосовувати відповідні миючі горючі і легкозаймисті рідини за умови суворого дотримання необхідних заходів пожежної безпеки.

Пролиті на підлогу лакофарбові матеріали і розчинники слід негайно прибрати за допомогою тирси, води і інших складів. При прибиранні епоксидних лакофарбових матеріалів спочатку використовують папір, потім ганчір'я, змочене ацетоном, після чого облийте місце мильною теплою водою з милом. Забороняється мити підлогу, стіни і устаткування горючими розчинниками.

Металеві деталі обладнання і пристосувань, що використовуються при фарбуванні пульверизацією, повинні бути надійно заземлені.

Фарборозпилювачі, шланги, нагнітальні бачки, ємності і інше фарбувальне обладнання наприкінці кожної зміни необхідно очищати і

промивати від залишків лакофарбових матеріалів при працюючій вентиляції. Для промивки фарбувального обладнання, слід застосовувати негорючі рідини.

Пензлі, щітки, ганчірки, пульверизатори після роботи треба зберігати в щільно закритих відрах (або бідонах) під витяжкою або у вентилязованих металевих шафах, що закриваються.

Застосування нових видів розчинників, лаків, фарб і інших хімічних засобів можливе лише з дозволу технологічної лабораторії і після узгодження з відділом техніки безпеки і пожежною охороною.

Очищення повітроводів витяжної вентиляції, а також ґрат ванн і стін шаф в сушильних і пульверизаторних камерах потрібно проводити залежно від нагромадження фарби, але не рідше двох разів на місяць. В окремих випадках для очищення від осаду можна розібрати вентиляційні труби, винести їх з приміщення і піддати випалюванню в спеціально відведеному для цього місці.

При очищенні поверхні від відкладень нітрофарб не можна допускати ударів об металеві конструкції. Скребки повинні бути з м'якого металу, що виключає іскроутворення. Зібрані відходи фарб необхідно прибрати з цеху, оскільки вони пожежонебезпечні і деякі з них можуть самозайматися.

У малярних і лакувальних цехах забороняється:

- а) користуватися відкритим вогнем для варіння клею і розігрівання фарб;
- б) проводити фарбування поза камерами і шафами або в інших, не призначених для цього місцях;
- в) зберігати біля фарбувальних камер велику кількість деталей, що підлягають фарбуванню, а також пофарбованих;
- г) проводити фарбування при вимкненій або несправній вентиляції;
- д) залишати після роботи фарбувальні матеріали і порожню тару з-під них. Після закінчення роботи в цеху їх слід прибрати в комору.

При сушінні пофарбованих деталей забороняється: підвищувати температуру і збільшувати час перебування деталей в сушарках більше встановлених регламентом, регулювання температури має бути автоматичним; піддавати сушінню виробу без попереднього стікання з їх поверхні надлишкового лаку або фарби.

У терморадіаційних і конвекційних з електропідігрівом сушильних камерах терморегулятори повинні автоматично блокуватися з вентиляційними установками.

Нагрівальні прилади сушильних камер повинні бути захищені від можливого потрапляння на них крапель фарби із пофарбованих виробів і від зіткнення з лакофарбовою плівкою.

У коморах лаків і фарб забороняється:

- а) зберігати запаси лаків, фарб, розчинників в кількостях, що перевищують їх добову потребу, а також в несправній і відкритій тарі;
- б) проводити роботи при несправній витяжній вентиляції;
- в) допускати спільне зберігання фарб, лаків з обтиральними і іншими волокнистими матеріалами;
- г) застосовувати для розкриття тари інструмент, здатний викликати іскроутворення.

Переливати лаки і фарби з однієї тари в іншу або в робочий посуд необхідно на металевих піддонах з бортами не нижче 5 см.

Забезпечення фарбувальних відділень, камер автоматичними установками пожежогасіння і автоматичною пожежною сигналізацією здійснюється згідно з таблицею 11.1

**Таблиця 11.1**

Норми обладнання приміщень автоматичними установками пожежогасіння і автоматичною пожежною сигналізацією

Вид приміщення	Нормативний показник приміщень, які підлягають обладнанню:	
	АУПГ	АПС
Фарбування методом занурення, струменевого обливання, безкамерне фарбування	Незалежно від площі	–
Фарбування різними методами (за винятком занурення, струменевого обливання, безкамерне фарбування)	При площі $\geq 500\text{м}^2$	При площі $< 500\text{м}^2$
Фарбоприготувальні на основі легкозаймистих і горючих рідин	Незалежно від площі	–
Камери для фарбування	Незалежно від площі	–
Камери для сушіння пофарбованих виробів	Незалежно від площі	–

Фарбувальні і сушильні камери повинні мати первинні засоби пожежогасіння відповідно до норм.

### Запитання та завдання для самоконтролю

1. Назвіть різновиди лакофарбових матеріалів та охарактеризуйте їх пожежну небезпеку.
2. Які основні складові входять у склад лакофарбових матеріалів та їх функціональне призначення? Їх пожежна небезпека.
3. Яка відмінність між лаками, фарбами та емалями?
4. Назвіть способи нанесення лакофарбових матеріалів на поверхні деталей чи виробів.
5. Які способи розпилення використовуються для нанесення лакофарбових матеріалів? Їх переваги та недоліки.
6. В чому полягає суть методу фарбування в електричному колі високої напруги? Його пожежна небезпека.
7. Які переваги та недоліки фарбування методом безповітряного гідравлічного розпилення?
8. У яких галузях промисловості для фарбування використовують струминне обливання та занурення?
9. Охарактеризуйте пожежну небезпеку процесів фарбування.
10. Призначення повітряних завіс в установках струминного обливання.

11. Яким способом переміщається фарба з фарбонагнітального бачка до пульверизатора?
12. З якою метою заземлюють пульверизатор для фарбування методом розпилення?
13. Які джерела запалювання є найбільш характерними при фарбуванні виробів та матеріалів?
14. Які пристрої передбачені для запобігання утворенню вибухопожежно-небезпечного середовища над ванною для фарбування виробів методом занурення (об'єм ванни 1,0 м<sup>3</sup>) ?
15. Назвіть основні пожежно-профілактичні заходи при проведенні лакофарбувальних робіт.
16. При якій місткості ванни для фарбування методом занурення потрібна система аварійного зливу лакофарбового матеріалу?
17. Яким чином реалізується регламентований (протягом 3...5 хв) злив лакофарбових матеріалів з ванни для фарбування методом занурення?
18. Вимоги до об'ємно-планувальних і конструктивних рішень фарбувальних цехів.
19. Які системи вентиляції передбачені для фарбувальних та фарбоприготувальних приміщень?
20. Як розташовують фарбувальні виробництва?
21. Які заходи передбачено на виробництві для запобігання поширення пожежі при фарбуванні виробів?
22. Назвіть періодичність очищення ванн для занурення, внутрішніх поверхонь, стін, стелі, підлоги фарбувальних камер, посудин, шлангів, що підводять повітря і робочі склади ЛФМ до розпилювачів від осілих лакофарбових матеріалів.
23. Назвіть норми обладнання приміщень автоматичними установками пожежогасіння і автоматичною пожежною сигналізацією.
24. Зона якого розміру вважається небезпечною при розташуванні фарбувальних ділянок в загальному потоці виробництва?
25. Назвіть норми зберігання лакофарбових матеріалів.



## РОЗДІЛ 12 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ

### 12.1. Загальна характеристика процесу сушіння

Сушінням називається процес вилучення вологи з твердих матеріалів шляхом її випаровування і відведення парів, які утворюються. Сушіння матеріалів можна здійснювати природним і штучним способом.

Природне сушіння – процес, при якому сушильний агент (повітря), який поглинув пари вологи, відводиться з зони матеріалу, що сушиться без штучних заходів (сушіння зерна, сіна, деревини тощо). Його здійснюють на відкритому повітрі під навісом чи в спеціальних приміщеннях в звичайному природному середовищі при нормальній температурі, протягом тривалого часу (від 24 до 48 год і більше), тому в сучасних виробництвах застосовуються рідко.

Штучне сушіння – процес, при якому сушильний агент, який поглинув пари вологи, відводиться штучним способом з допомогою вентиляторів, димососів, витяжних труб та інших пристроїв. Його здійснюють в спеціальних пристроях – сушарках при підвищеній температурі. Вологу можна вилучити з матеріалів і механічними способами, наприклад витискуванням, відстоюванням, центрифугуванням. Однак, більш повне вилучення вологи досягається при тепловому сушінні.

Хімічне сушіння базується на хімічній взаємодії парів двохлористої сірки зі складовими фарб і лаків. Це дуже швидкісне сушіння, але воно не набуло широкого застосування.

Під вологою розуміють будь-яку рідину (горючу і негорючу), що міститься у будь-якому матеріалі. Кількість вологи, що виражається у відсотках, називається вологістю матеріалу. Вологість виражають за відношенням до загальної маси матеріалу (включаючи вологу, що міститься в ньому):

$$W = \frac{G_{\text{вол.}}}{G} \cdot 100 = \frac{G_{\text{вол.}}}{G_{\text{сух.}} + G_{\text{вол.}}} \cdot 100,$$

де  $W$  – відносна вологість;  $G$  – загальна маса матеріалу;  $G_{\text{вол.}}$  – маса вологи;  $G_{\text{сух.}}$  – маса сухого матеріалу.

А також вологість виражають за відношенням до маси абсолютно сухої речовини:

$$W^c = \frac{G_{\text{вол.}}}{G_{\text{сух.}}} \cdot 100,$$

де  $W^c$  – вологовміст.

Кількість горючої рідини, яка випаровується з поверхні матеріалу, можна визначити з рівняння матеріального балансу сушіння:  $G_{\text{вол.}} = G_1 - G_2$ ,

де  $G_{\text{вол.}}$  – кількість рідини, що вилучається з матеріалу при сушінні;  $G_1$  – кількість матеріалу, що надходить в сушарку;  $G_2$  – кількість матеріалу, що виходить з сушарки.

Якщо врахувати, що кількість абсолютно сухої речовини в матеріалі не змінюється, можна скласти рівняння матеріального балансу за сухою речовиною:  $G_{\text{сух.}} = G_1 \frac{100 - W_1}{100} = G_2 \frac{100 - W_2}{100}$ ,

де:  $W_1$  – вологість матеріалу при вході в сушарку;  $W_2$  – вологість матеріалу при виході в сушарки.

З попередньої формули випливає, що  $G_1 = \frac{100 - W_2}{100 - W_1} G_2$  і  $G_2 = \frac{100 - W_1}{100 - W_2} G_1$ .

За фізичною суттю сушіння є складним дифузійним процесом, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи з глибини матеріалу, що висушується, у довкілля. Вилучення вологи при сушінні зводиться до переміщення вологи з об'єму матеріалу до поверхні і перенесення її з поверхні матеріалу в довкілля. Швидкість сушіння визначається зменшенням вологи матеріалу на деякий безконечно малий проміжок часу.

### **Види сушарок та їх основні конструктивні елементи**

Процес сушіння здійснюється в спеціальних пристроях – сушарках. Існують різні типи сушарок, які відрізняються за способом підведення тепла, конструкцією, способом організації процесу, величиною тиску й інших параметрів, транспортними засобами.

За способом підведення тепла сушарки бувають конвективні – відбувається безпосередній контакт матеріалу з теплоносієм, контактні – тепло від теплоносія до матеріалу, який висушується, передається через розділюючу стінку, терморадіаційні – тепло передається матеріалу інфрачервоними променями. Тут застосовують лампові (рефлекторні), панельні та трубчасті випромінювачі. Лампові випромінювачі сушать інфрачервоними променями.

В сучасних технологіях все частіше застосовують темні панельні випромінювачі, а також діелектричні (індукційні) сушарки, у яких матеріал нагрівається в потоці струмів високої частоти. Принцип роботи індукційних сушарок полягає в тому, що електричний струм, проходячи обмотку, викликає індукційні (вихрові) струми, які створюють тепло в металевих масах. Індукційні струми дуже швидко віддають тепло виробу, тому цей спосіб за швидкістю нагрівання і висушування випереджає всі інші. Використовуються також сублимаційні, комбіновані сушарки (радіаційно-конвективні, паровисокочастотні), а також сушарки з декількома тепловими процесами, наприклад, сушіння й охолодження тощо.

За конструкцією розрізняють камерні, тунельні, шахтні, стрічкові (одно і багато стрічкові), поличкові, барабанні, валкові сушарки, сушарки з „киплячим„ шаром. За способом організації процесу сушарки бувають періодичні і неперервні. За величиною тиску, що використовується, сушарки поділяють на атмосферні і вакуумні.

Сушарки мають різноманітні транспортні пристрої – візки, вагонетки, конвеєри. Конструктивно сушарки бувають відкритими, напівзакритими, закритими і герметизованими.

Сушильна камера може мати різний об'єм, різну конфігурацію, бути повністю закритою чи відкритою. Підігрівачі розташовують поза камерою чи всередині її. За необхідності створення м'яких режимів роботи (отримання матеріалів високої якості чи для економії тепла) сушарки можуть працювати з рециркуляцією – нагріте повітря не викидається в атмосферу, а вентилятором частково чи повністю потрапляє в сушильну камеру.

Сушильні установки розташовують в окремих будівлях (приміщеннях) чи в самостійних цехах. Сушарки у вигляді одної чи декількох сушильних камер частіше за все є складовою технологічних потоків і розташовуються в загальних цехах.

Конвективні сушарки в технологічних процесах виробництв найбільш розповсюджені. З допомогою транспортних пристроїв в камері пересувається матеріал, який висушується. Сушильний агент вентиляторами подається у підігрівач і, нагрівшись до заданої температури, надходить в сушильну камеру, де відбувається процес сушіння. Теплоносій насичується парами рідини, що випаровуються з матеріалу, який висушується, і залишає камеру. Матеріал, що висушується, також виводиться з камери. При сушінні з рециркуляцією частина теплоносія знову подається в сушильну камеру по рециркуляційній лінії, що створює більш м'який режим роботи і заощаджує теплову енергію.

В камерах конвективних сушарок матеріал, який висушується, перебуває в нерухомому чи рухомому щільному шарі (тунельні, камерні, стрічкові та інші сушарки), або у завислому і напівзавислому стані (барабанні, шахтні сушарки, труби-сушарки, сушарки з киплячим шаром). Теплоносіями в конвективних сушарках є нагріте повітря, суміш паливних газів з повітрям, інертні гази, водяна пара. Найбільш розповсюдженими і пожежонебезпечними є калориферні та димогазові сушарки.

В конвективних сушарках сушіння здійснюється шляхом безпосереднього контакту матеріалу, який висушується з сушильним агентом (теплоносієм). В якості теплоносія використовується нагріте повітря, паливні гази і суміші з повітрям, інертні гази, перегріті водяна пара. Недолік конвективного способу сушіння – порівняно невелика інтенсивність процесу. Пояснюється це тим, що при сушінні в глибині матеріалу температура матеріалу менша, ніж на поверхні, тобто в цей період перепад температур має від'ємне значення і гальмує рух вологи до поверхні.

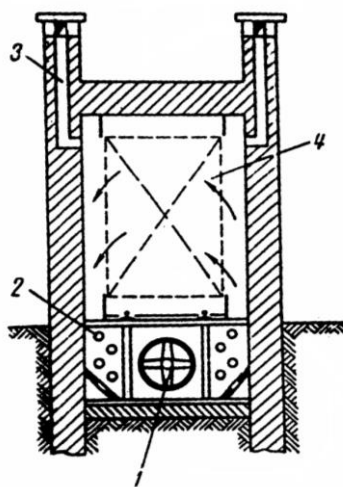
Пожежна небезпека конвективних сушарок зумовлена перш за все наявністю горючого середовища і можливістю утворення вибухонебезпечних пароповітряних концентрацій при порушенні нормального режиму експлуатації. Концентрація парів розчинника в сушильній камері збільшується при збільшенні інтенсивності випаровування (через перевантаження камери, через подачу на сушіння матеріалів з більш розвинутою поверхнею випаровування чи з підвищеним вмістом розчинника); при зупинці вентилятора (чи зменшенні його продуктивності через збільшення опору лінії);

при роботі сушарки з більшим коефіцієнтом рециркуляції; при підвищенні температури в сушарці (через інтенсифікацію роботи калорифера).

Калориферні сушарки – це такі сушарки, в яких теплоносій (газ чи повітря) нагрівається в калориферах, розташованих всередині чи поза сушильними камерами, що обігріваються паром, нагрітою водою, димовими газами (вогневі), електроенергією чи органічними теплоносіями. Ці сушарки широко використовуються для сушіння твердих, волокнистих, сипких подрібнених матеріалів, паст тощо.

Пожежна профілактика сушіння подрібнених матеріалів передбачає виключення можливості утворення відкладень пилу в повітроводах, на стінах камер, в калориферах. Необхідно регулярно здійснювати очищення від пилу камер, обладнання, приміщень, а також детально очищати від пилу відпрацьоване повітря з допомогою циклонів, фільтрів, пінних камер, скрубєрів; захищати сушильні камери запобіжними вибуховими клапанами.

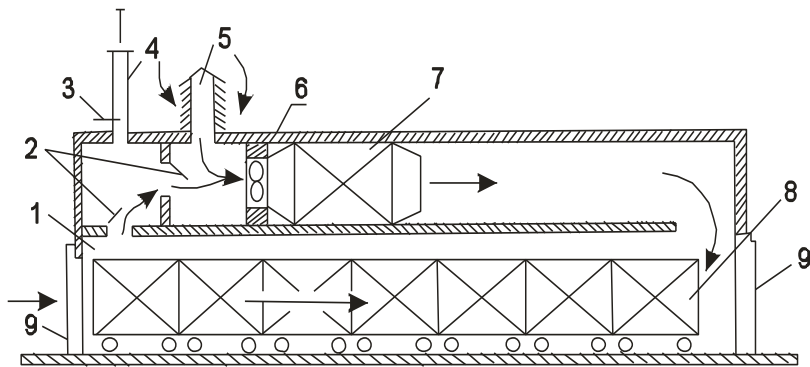
Камерні сушарки (рис.12.1) – установки періодичної дії з природною чи примусовою циркуляцією повітря. Використовуються для сушіння невеликої кількості матеріалу. Матеріал, що висушується, подають в сушильні камери на вагонетках з допомогою спеціальних механізмів. Мають прямокутну камеру, у яку поміщається матеріал, який висушується (в вагонетках, лотках). Циркуляція теплоносія здійснюється примусово з допомогою вентилятора, підігрів здійснюється з допомогою калориферів.



**Рисунок 12.1** – Схема камерної сушарки з внутрішнім осьовим вентилятором:

1 – осьовий вентилятор; 2 – калорифер; 3 – канал для повітря; 4 – штабель матеріалу, що висушується

Тунельні сушарки (рис. 12.2) мають тунель (довгий коридор), в який через однакові проміжки часу надходить вологий матеріал (на візках, у вагонетках). Довжина тунелю – до 60 м, ширина – до 6 м, висота – до 3 м. Повітря забирається через жалюзійну камеру вентилятором і продувається через калорифер. Тунельні сушарки використовуються для сушіння великих кількостей матеріалів, які довго сохнуть. Сушіння може здійснюватись методом рециркуляції з використанням шибєрів. Швидкість повітря, як правило, встановлюється такою, щоб не видувало пил з висушуваного матеріалу.

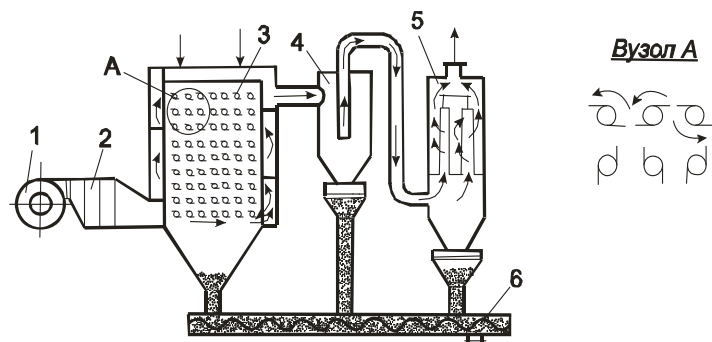


**Рисунок 12.2** – Схема тунельної сушарки:

1 – сушительна камера; 2, 3 – шибери для регулювання кількості повітря; 4 – витяжна труба; 5 – жалюзійна камера; 6 – осьовий вентилятор; 7 – калорифер; 8 – матеріал, що висушується; 9 – двері

Камерні і тунельні вагонетні сушарки використовують для сушіння деревини (пиломатеріалів), шкіри, пряжі (наприклад, віскози в бобінах), хімічних речовин, різних сипких і волокнистих матеріалів.

Шахтні (поличкові) сушарки (рис. 12.3) застосовуються для сушіння сипких матеріалів (полістиролу, синтетичного каучуку, синтетичних смол, зерна, каталізаторів). За конструкцію – це вертикальні шахти, в яких матеріал висушують, переміщуючи його зверху вниз під дією сили тяжіння. Суміш паливних газів з повітрям із змішувальної камери подають вентилятором у сушительну камеру, яка заповнена коробами з відкритими днищами, потім вона проходить через шар матеріалу і викидається за межі сушарки. Сушительний агент проходить через шар сипкого матеріалу. Матеріал, який висушується, подається на верхню поличку, яка складається з пластин, що повертаються на 90°. При одночасному повороті всіх пластин матеріал пересипається на поличку, що нижче розташована і далі процес періодично повторюється. З камери повітря надходить в циклон і рукавний фільтр на очищення від пилу.

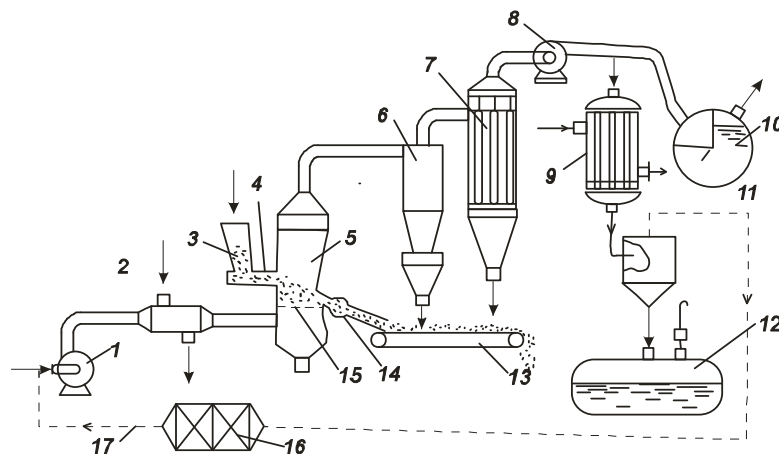


**Рисунок 12.3** – Шахтна сушарка з поличками, що перекидаються:

1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – полички, що перекидаються; 4 – циклон; 5 – рукавний фільтр; 6 – шнек для вивантаження висушеного матеріалу

Сушарки з „киплячим” шаром (рис. 12.4) використовуються для сушіння сипких зернистих матеріалів, а також матеріалів, які піддаються грудкуванню (поліетилен, полівінілхлорид), пастоподібних матеріалів (пігментів, згущеного

молока, барвників), розчинів, розплавів, суспензій. Матеріал, що висушується, подається в камеру шнеком з бункера. Повітря вентилятором подається в калорифер, де нагрівається і подається в сушильну камеру. Проходячи через шар матеріалу, який висушується, повітря переводить частинки у завислий стан та висушує їх. Відпрацьовані гази очищуються від пилу в циклоні, батарейному вловлювачі і пінному фільтрі, після чого викидаються в атмосферу. Висушений матеріал через живильник надходить на транспортер. Процес сушіння в киплячому шарі дає можливість у багато разів інтенсифікувати випаровування вологи з матеріалу і скоротити (до декількох хвилин) тривалість висушування.

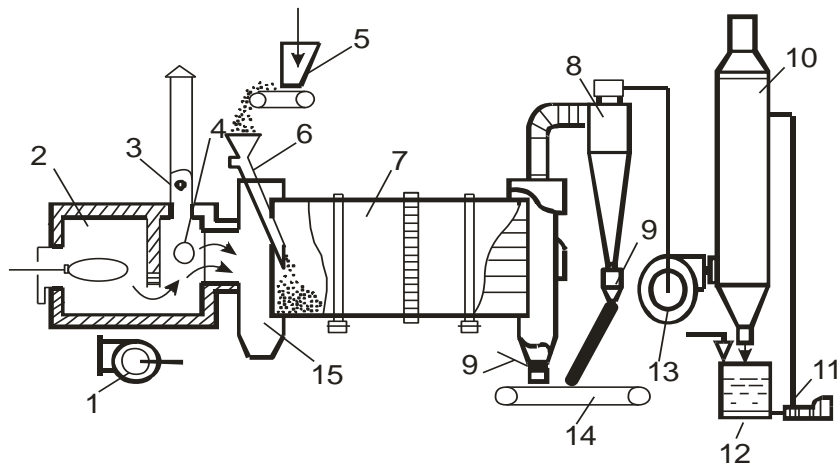


**Рисунок 12.4** – Схема однокамерної сушарки з «киплячим шаром»:

- 1, 8 – вентилятори; 2 – калорифер; 3 – приймальний бункер вологого матеріалу; 4 – шнек; 5 – камера; 6 – циклон; 7 – батарейний циклон; 9 – конденсатор; 10 – пінний фільтр для очищення від пилу відпрацьованого газу; 11 – сепаратор; 12 – збірник горючої рідини; 13 – транспортер; 14 – живильник; 15 – розподільча решітка; 16 – керамічний фільтр; 17 – лінія інертного газу

Для підтримання рівномірного кипіння частинок в шарі гаряче повітря чи інший теплоносіє подають під решітку сушарки рівномірно по всій її площі і з відповідною швидкістю, при якій частинки матеріалу переходять у завислий стан, і весь шар матеріалу нагадує киплячу рідину.

Димогазові сушарки (рис. 12.5) працюють з використанням в якості теплоносія суміші димових газів з повітрям. Паливні гази у більшості випадків отримують в спеціальних паливниках при спалюванні твердого, рідкого чи газоподібного палива. Їх розводять повітрям до необхідної температури. Такі сушарки використовують для сушіння деревини, зерна, деревних відходів, бавовни, льону, вугілля, торфу.



**Рисунок 12.5** – Схема барабанної сушарки:

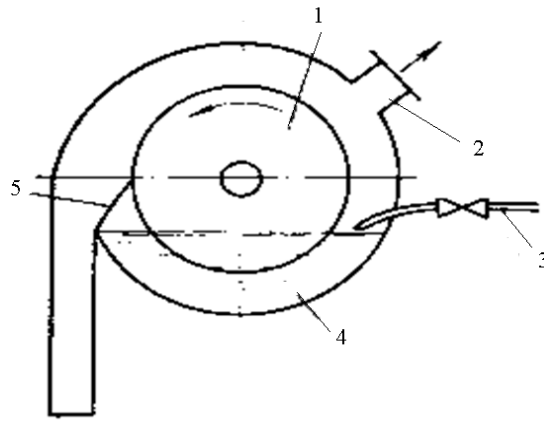
1 – вентилятор для подачі повітря; 2 – топка; 3 – димар; 4 – подача холодного повітря; 5 – живильник-дозатор; 6 – самопливна труба; 7 – барабанна сушарка; 8 – циклон; 9 – затвор; 10 – мокрий скруббер; 11 – насос; 12 – ємність; 13 – димосос; 14 – транспортер; 15 – змішувальна камера

У контактних сушарках передача тепла від теплоносія до матеріалу, що висушується, здійснюється через стінку, яка їх розділяє. Найпростішими контактними сушарками періодичної дії є вакуум-сушильні шафи. Їх використовують для сушіння малотоннажних продуктів у виробництві, де застосування високопродуктивних механізованих сушарок безперервної дії економічно не доцільно.

Вакуум-сушильна шафа являє собою циліндричну камеру, у якій розташовані порожнисті нагрівальні плити, які обігріваються глухою парою. Матеріал, що висушується розташовується в противнях. Волога відсмоктується з сушарки через штуцер.

Вакуум-сушильні шафи придатні для сушіння легкозаймистих, вибухонебезпечних речовин. Однак, вони малопродуктивні і малоефективні, оскільки сушіння у них відбувається в нерухомому шарі завдяки наявності малотеплопровідних щілин між противнями та плитами.

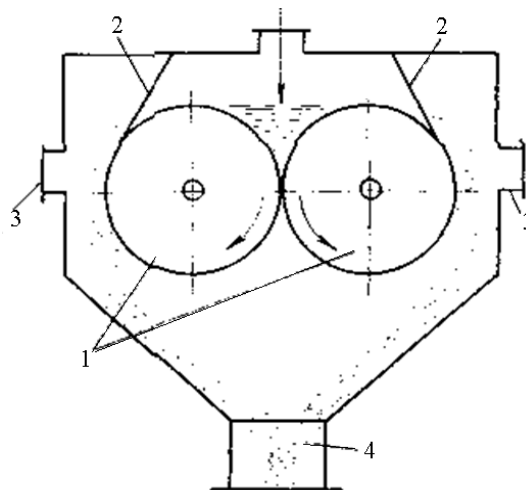
До контактних сушарок безперервної дії відносяться валкові сушарки (одно- і двовалкові). В одновалкових сушарках матеріал, що висушується (рідкий чи пастоподібний) подається у ванну, у якій обертається порожній барабан (валок), який зсередини обігрівається парою. Матеріал покриває поверхню барабана тонким шаром (плівкою). Висушування матеріалу відбувається протягом одного неповного обороту барабана. Плівка висушеного матеріалу знімається ножем, який розташований вздовж твірної барабана. Волога, що випаровується, вилучається через спеціальні штуцери.



**Рисунок 12.6** – Схема двовалкової сушарки:

1 – барабан (валок); 2 – штуцер; 3 – трубопровід для подачі рідкого матеріалу на висушування; 4 – матеріал, який висушується; 5 – ніж

Двовалкові сушарки працюють так само, як і одновалкові. Матеріал, який висушується (сировина) подається у щілину між валками, які повільно обертаються назустріч один одному. Валки зсередини підігріваються парою або високотемпературним теплоносієм. Щілина між валками регулюється. Тонкий шар висушеного матеріалу знімається ножем. Пори вологи вилучаються через штуцери 3, а висушений матеріал виводиться через штуцер 4.



**Рисунок 12.7** – Схема двовалкової сушарки:

1 – валки; 2 – ножі; 3 – штуцери для відведення парів;  
4 – штуцер для відведення висушеного матеріалу

Валкові сушарки можуть працювати при атмосферному тиску і при вакуумі. В останньому випадку всі робочі частини сушарки знаходяться всередині герметичного кожуха, який з'єднаний з установкою для створення вакууму. У валкових сушарках можна ефективно сушити матеріали, які не витримують тривалого впливу високих температур, наприклад, барвники.

Пожежна небезпека контактних сушарок пов'язана з можливістю утворення вибухонебезпечних концентрацій всередині кожуха у випадку порушення процесу витяжки горючих парів (зупинки вакуум-насосів чи вентиляторів, при зниженні їх продуктивності), а також у випадку перегріву поверхонь через порушення теплового режиму підігріву валків.



## 12.2. Протипожежний захист процесів сушіння

Щоб уникнути утворення горючих концентрацій в сушильних камерах встановлюють гранично допустимий температурний режим роботи і здійснюють за ним автоматичний контроль. Автоматичні регулятори підтримують задану температуру завдяки зміні кількості теплоносія (палива чи напруги). Для контролю за концентраціями пари в сушарці встановлюють автоматичні газоаналізатори, що забезпечують подачу сигналу при досягненні концентрації, що дорівнює 20% нижньої концентраційної межі поширення полум'я. За відсутності газоаналізаторів, які випускаються серійно для парів даного розчинника запроваджують лабораторний контроль концентрації парів в повітрі, періодично відбираючи проби.

Для кожної сушарки повинні бути встановлені гранично допустимі норми завантаження матеріалу, що висушується, і температурний режим роботи. При експлуатації сушарок необхідно постійно контролювати дотримання температурного режиму процесу сушіння і справності приладів контролю та сигналізації. Пристрої автоматичного регулювання температури особливо необхідні для сушарок, які висушують матеріали, схильні до самозагоряння і термічно нестійкі матеріали.

Під час сушіння речовин і матеріалів треба стежити за тим, щоб вентиляційна система сушарки постійно забезпечувала вибухобезпечну концентрацію пари і газів в сушильному об'ємі камери.

У сушарках, які працюють з рециркуляцією повітря, необхідно контролювати допустиму величину повернення (рециркуляції) повітря, щоб в сушильній камері не могла створюватися концентрація парів і газів, що перевищує 20% концентрації їх нижньої межі займання. Шибери на викидній лінії повинні бути обладнані обмежувачами.

Для сушіння матеріалів, що містять велику кількість розчинників, використовують вакуумні сушарки чи сушарки з інертним середовищем.

В сушарках з постійно відкритими прорізами слідкують за тим, щоб система витяжки забезпечувала швидкість руху повітря в прорізах не менше 1...1,5 м/с для запобігання проникненню парів розчинників в цех.

При сушінні подрібнених та порошкових матеріалів кількість повітря, що подається до сушарки, приймають з умови, щоб концентрація пилу була завжди меншою за 0,5 від нижньої концентраційної межі поширення полум'я. Якщо цю умову виконати неможливо, сушіння проводять в середовищі інертного газу.

Конструктивні елементи сушарок виконують так, щоб виключалась можливість відкладення на них пилу (гладкі поверхні стін камер, повітроводів, калориферів, плавні повороти повітроводів тощо). Для глибокого очищення повітря, що виходить з сушарок, після циклонів встановлюють пінні фільтри чи скрубери.

Робота сушарок безперервної дії здійснюється за наявності системи блокування, що забезпечує автоматичне від'єднання підігріву при раптовій зупинці конвеєра чи витяжного вентилятора. У вибухонебезпечних сушарках використовують вибухобезпечне обладнання, а притвори дверей виконують з матеріалів, що не висікають іскор при ударах.

При сушінні нітросполук і органічних матеріалів, що виділяють пил чи відходи, калорифери розташовують поза сушильними камерами. В сушарках для сушіння твердих горючих матеріалів, які не виділяють пилю, калорифери розташовують у верхній частині камери чи біля бокових стін, виключаючи дотикання калориферів з матеріалом, який висушується, і запобігаючи забрудненню поверхні нагрівальних приладів пилом та відходами. При розташуванні нагрівальних елементів в нижній частині сушильної камери над ними влаштовують металічні щитки (екрани) чи суцільні настили. При сушінні матеріалів, які схильні до самозаймання, підтримують оптимальну товщину шару, слідкуючи за тим, щоб матеріали не нагромаджувались.

Для відведення статичної електрики заземлюють металічні елементи сушарок, циклони, трубопроводи. Якщо через відкладення суцільним шаром пилю на стінках, то використовують сушильний агент, який володіє електропровідністю (через іонізацію чи достатнє насичення вологою) або інертні гази (азот, перегріту пару).

Оберткові вали при сушінні волокнистих матеріалів захищають від зіткнення з волокнистими матеріалами, встановлюють мінімальні щілини між цапфами валів і підшипників, своєчасно здійснюють очищення валів від волокон.

В димогазових сушарках при раптовій зупинці вентилятора чи транспортера подачу теплоносія негайно припиняють, а продукти горіння викидають з топки в атмосферу.

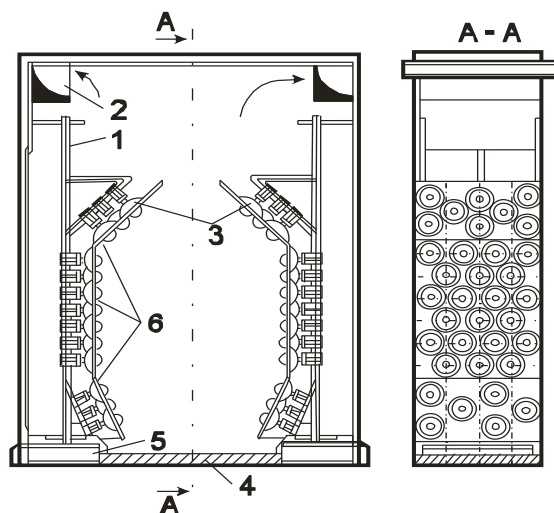
Конструкція сушильної камери і спосіб подачі матеріалів на сушіння виключають утворення застійних зон. Патрубок для подавання нерегульованої кількості холодного повітря у змішувальну камеру підбирають без засувок з таким перерізом, щоб при форсованому режимі роботи топки не перевищувалась максимально допустима температура в сушильній камері.

Для запобігання потраплянню в сушильні камери іскор топки сушарок обладнують не менше ніж двома системами іскровловлення (осадними камерами, циклонами, жалюзійними іскровловлювачами) і слідкують за їх справністю. При включенні в роботу сушарки і прогріві топки продукти горіння викидають через димар в атмосферу. Вентилятор розташовують перед сушильною камерою, щоб він міг служити додатковим іскрогасним пристроєм. Передбачають надійний захист від потрапляння на гарячі поверхні димоходів і труб горючих відходів.

Для того, щоб газоходи менше забруднювались сажею, забезпечують повне згоряння палива, що досягається горінням палива з високим коефіцієнтом надлишку повітря (не менше 1,5). Догоряння іскор в осадних камерах і цегляному циклоні здійснюється при нагріванні їх стінок до температури не нижче 700...750°C. Осадні камери і циклон очищають від вловлених іскор, а канали (димоходи) від сажі не рідше одного разу на тиждень.

Терморадіаційні сушарки включають в роботу за наявності справних терморегуляторів, що автоматично підтримують температуру, не допускаючи зменшення гранично допустимих безпечних відстаней від випромінювачів (рамп і панелей) до матеріалу, що висушується.

В лампових сушарках (рис.12.8) використовують тільки ті лампи, на які вони розраховані. Монтажні лампові панелі розташовують поза межами камери. При конструюванні радіаційних сушарок з панельними і ламповими випромінювачами передбачають спеціальні пристрої для охолодження контактів і цоколів ламп.



**Рисунок 12.6** – Схема лампової сушарки:

- 1 – рухома панель; 2 – канали для відведення пароповітряної суміші;  
 3 – рефлектори; 4 – ізоляційна цегла; 5 – короб для подавання повітря;  
 6 – відбивний екран

Здійснюється контроль за станом поверхні керамічних екранів. При газовому обігріві панелей для продування системи перед розпалом пальників на газопроводі (перед пальниками) встановлюють продувні свічі. Сушарки обладнують автоматичними запальниками, а для контролю за витіканням використовують газоаналізатори, які зблоковані з аварійною системою вентиляції.

Сушильні установки (камери) виконують з негорючих матеріалів, розташовуючи їх по периметру будівлі (біля зовнішніх стін), відокремлюючи від інших приміщень протипожежними стінами і обладнуючи самостійною системою вентиляції, що не з'єднана з вентиляцією цеху.

Для кожної з сушарок встановлюють гранично допустиму норму завантаження матеріалом. У сушарок періодичної дії завантаження і розвантаження вагонеток чи інших транспортних пристроїв здійснюють поза сушильною камерою, щоб не засмічувати її. Після кожного розвантаження камеру очищають від горючих відходів. Регулярно очищають від пилу й інших відкладень підігрівачі, циклони та транспортні пристрої.

Для запобігання поширенню пожежі повітроводами лінії нагнітання і відсмоктування повітря обладнують засувками, що автоматично закриваються.

При сушінні матеріалів від горючих розчинників чи сушінні подрібнених матеріалів, пил яких має нижню концентраційну межу поширення полум'я меншу за  $65 \text{ г/м}^3$ , сушильні камери виконують з легким покриттям чи

обладнують їх запобіжними вибухозарядними клапанами. Клапани розташовують так, щоб при їх спрацюванні не постраждав обслуговуючий персонал. Сушильні камери обладнують автоматичними установками пожежогасіння і первинними засобами пожежогасіння. При загорянні матеріалу, що висушується, систему вентиляції і транспортні пристрої негайно зупиняють.

Сушарки безперервної дії допускаються до роботи за наявності справно діючої системи блокування, що забезпечує автоматичне відключення обігріву (калориферів, випромінювачів, електродів тощо) при раптовій зупинці конвеєра або витяжного вентилятора.

При експлуатації сушарок, в яких матеріал, що висушується, знаходиться в рухомому або завислому стані, необхідно стежити за справністю і своєчасною перевіркою системи заземлення. Якщо заземлення камер, трубопроводів і циклонів неефективне внаслідок відкладення на стінах неелектропровідного пилу, слід використовувати електропровідний сушильний агент або використовувати для сушіння інертні гази.

Щоб уникнути поширення пожежі необхідно стежити за наявністю і справністю засувок, що автоматично закриваються, на лініях витяжки парів і лініях подачі свіжого повітря.

Необхідно регулярно стежити за якістю очищення сушильних камер, підігрівачів, повітроводів, фільтрів, циклонів і транспортних пристосувань від пилу і інших відкладень. Терміни очищення повинні бути вказані у виробничій інструкції.

При експлуатації конвекційних (повітряних) сушарок необхідно:

а) щоб калорифери, розташовані всередині сушильних камер, не торкалися висушуваного матеріалу, для запобігання забрудненню їх пилом і відходами. Нагрівальні елементи повинні бути доступні для огляду і очищення;

б) завантаження і розвантаження візків горючими матеріалами в сушарках періодичної дії проводити поза камерою. Після кожного вивантаження очищати камеру від горючих відходів;

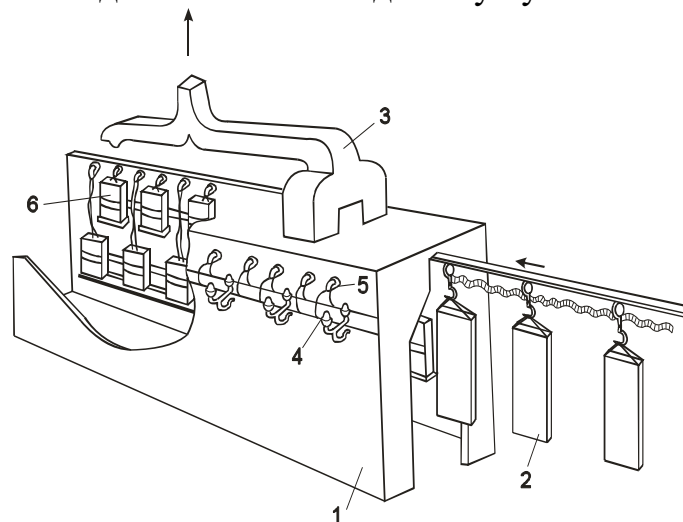
в) при сушінні волокнистих матеріалів стежити за тим, щоб не було намотування волокон на вали живильників, транспортерів і вентиляторів; встановлювати мінімальні зазори між цапфами валів і підшипниками; своєчасно очищати вали від намотувань;

г) при сушінні матеріалів у вигляді стрічки (наприклад, стрічки каучуку, тканини, просоченої полімерними матеріалами тощо) витримувати встановлену технологічним регламентом швидкість руху стрічки; передбачати блокування, що забезпечує автоматичне відключення обігріву при зупинці або обриві стрічки;

д) при сушінні подрібнених матеріалів (у вигляді порошку, волокнистої маси тощо), схильних до самозагоряння, а також речовин і матеріалів, пофарбованих або просочених схильними до самозагоряння складами, підтримувати встановлену оптимальну товщину шару, стежити, щоб стрічки були розплавлені.

При експлуатації терморадіаційних сушарок (рис. 12.9) (панельні сушарки з газовим або електричним обігрівом та лампові) необхідно: включати

їх в роботу за наявності справних терморегуляторів, що автоматично підтримують задану температуру; не допускати зменшення гранично допустимих відстаней від ламп і панелей до висушуваних матеріалів.



**Рисунок 12.9** – Схема камерної сушарки з внутрішнім осьовим вентилятором:  
1 – камера; 2 – пофарбований виріб; 3 – канал для повітря; 4 – підведення електричного струму; 5 – ізолятор; 6 – панель

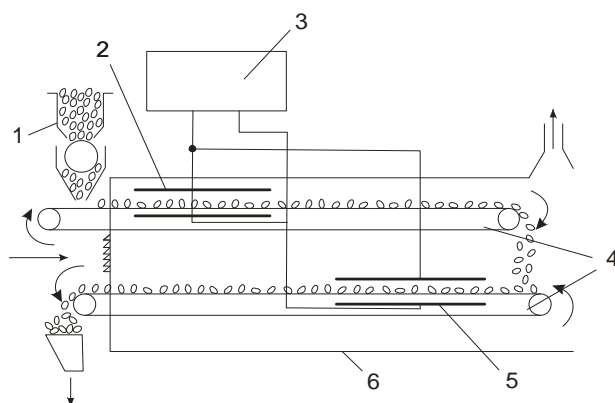
При експлуатації електричних високочастотних сушарок (рис.12.10) необхідно:

а) стежити за справністю системи блокування, яка автоматично відключає електричну напругу при відчиненні дверей сушильної камери;

б) для захисту робочих конденсаторів у момент падіння крапель обклеювати верхні пластини конденсаторів азбестовими папером або тканиною;

в) мати справну систему блокування, що забезпечує відключення живлення струмом електродів у разі виникнення пожежі, а також автоматичну світлову або звукову сигналізацію для сповіщення про виникнення пожежі;

г) не допускати гасіння водою електричної і високочастотної частин сушильної установки, а використовувати в цьому випадку негорючі гази або інші засоби, придатні для гасіння пожеж електроустаткування.



**Рисунок 12.10** – Схема сушарки струмами високої частоти:  
1 – завантажувальна воронка; 2, 5 – пластини конденсатора; 3 – випрямник;  
4 – транспортери з матеріалом, що висихується; 6 – сушильна камера

При сушінні речовин в киплячому шарі необхідно: контролювати герметичність системи для запобігання можливості попадання горючої пари і пилу в приміщення; забезпечувати постійні тиск і швидкість руху газів, оскільки збільшення швидкості спричинить підвищене віднесення пилу, а зменшення швидкості потоку газів призведе до ущільнення шару і забивання ґрат.

В процесі експлуатації сушарок необхідно стежити за станом автоматичних систем пожежогасіння і у встановлені терміни перевіряти їх справність. При загорянні висушуваного матеріалу система вентиляція і транспортуючі пристрої повинні бути негайно зупинені.

### **Запитання та завдання для самоконтролю**

1. Фізична суть процесів сушіння та параметри, які їх характеризують.
2. Як класифікують сушарки за конструкцією, способом підведення тепла, способом організації процесу?
3. Якої кратності повинен бути повітрообмін системи вентиляції у сушильній камері?
4. Які види теплоносіїв використовують у сушарках?
5. Чим зумовлена пожежна небезпека конвективних сушарок?
6. Які чинники зумовлюють швидкий розвиток пожежі в сушарках?
7. Назвіть заходи пожежної профілактики при сушінні тонкодисперсних матеріалів.
8. Конструктивні особливості камерних та тунельних сушарок. Їх пожежна небезпека.
9. В чому полягає пожежна небезпека сушіння деревини в петролатумних сушарках?
10. Дайте порівняльну характеристику сушарок з „киплячим шаром” і димогазових сушарок. Галузь їх застосування.
11. Назвіть найбільш небезпечний період сушіння лакофарбових виробів?
12. Які особливості пожежної небезпеки терморадіаційних сушарок?
13. Зменшення коефіцієнта рециркуляції призводить до збільшення чи до зменшення пожежної небезпеки?
14. Як здійснюється передача тепла від теплоносія до матеріалу, що висушується, у контактних сушарках? Наведіть приклади таких сушарок.
15. У який спосіб здійснюють контроль концентрації парів в повітрі за відсутності газоаналізаторів?
16. Яка концентрація парів і газів повинна бути у сушарках, які працюють з рециркуляцією повітря?
17. Як запобігають потраплянню в сушильні камери іскор з топки сушарки?
18. Які сушарки використовують для сушіння матеріалів, що містять велику кількість розчинників?

19. Яка повинна бути швидкість руху повітря в системі витяжки в сушарках з постійно відкритими прорізами для запобігання проникненню парів розчинників в цех ?
20. У якому випадку сушильні камери виконують з легким покриттям чи обладнують їх запобіжними вибухозарядними клапанами?
21. Назвіть основні напрями зменшення кількості горючих матеріалів в сушильних установках.
22. Як розташовують сушильні установки в будівлі? З яких матеріалів їх виготовляють?
23. З яким коефіцієнтом надлишку повітря повинно згоряти паливо щоб газоходи менше забруднювались сажею ?
24. Які матеріали висушують з допомогою індукційних сушарок?
25. Заходи пожежної профілактики при експлуатації високочастотних (діелектричних) сушарок.

## РОЗДІЛ 13 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРОЦЕСІВ СОРБЦІЇ

Для розділення газових і парових сумішей використовують процеси сорбції. Сорбція (з лат. *sorbere* – поглинати) – це властивість окремих речовин поглинати гази або пари рідин.

Сорбенти – це речовини, які здатні поглинати гази або пари рідин. Процеси сорбції є зворотні.

На швидкість і повноту процесів сорбції та десорбції впливають такі параметри, як температура і тиск. Для інтенсифікації протікання процесів сорбції необхідні – низька температура та високий тиск, для десорбції – висока температура та низький тиск.

Процеси сорбції вибіркові, тобто кожен із різновидів сорбентів здатний поглинати лише один з конкретних газів або пару конкретної рідини. Універсальні сорбенти зустрічаються дуже рідко.

Існують такі різновиди процесів сорбції: абсорбція, адсорбція, хемосорбція, капілярна конденсація.

### 13.1. Пожежна безпека процесів абсорбції

Абсорбція – процес вибіркового поглинання газів або парів рідкими поглиначами (абсорбентами) з утворенням розчину (фізична абсорбція) чи нестійкої хімічної сполуки (хемосорбція). В процесі абсорбції поглинання здійснюється усім об'ємом речовини.

Процес абсорбції застосовують у нафтохімічній, хімічній, харчовій, легкій та інших галузях промисловості. Зокрема, у виробництві поліетилену для вилучення з етилену ацетилену за допомогою ацетону або їдкого натру (NaOH); в процесах виробництва соди та неорганічних кислот (HNO<sub>3</sub>, HCl і H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); для розділення вуглеводних газів на заводах органічного синтезу; для виділення вуглеводневих газів і домішок (наприклад, газового бензину, газів крекінгу і піролізу); для осушування газу на головних спорудах магістральних газопроводів і на газопереробних заводах; для очищення природного газу від сірководню; для санітарного очищення викидних промислових газів від шкідливих домішок, для виокремлення цінних компонентів – аміаку, парів бензолу і інших речовин з коксового газу; у харчовій промисловості для насичення пива, шампанського вина вуглекислим газом; для сульфатації фруктових соків оксидом сірки SO<sub>2</sub> з метою їх консервування; для збирання вуглекислого газу, який утворюється в результаті бродіння при виробництві спирту та пива (в подальшому він очищається і використовується в технологіях інших виробництв); класичним прикладом процесу абсорбції є процес насичення мінеральної води вуглекислим газом (сатурація) тощо.

В якості абсорбентів використовують такі рідини, як ацетон, спирти, бензол, окремі луки та кислоти, диметилформамід, солярове масло, етаноламіни, воду, миш'яковосодовий розчин.



Оборотність процесу фізичної абсорбції створює сприятливі умови для послідовного проведення процесів абсорбції та десорбції.

Десорбція (з лат. *de...* – префікс, що означає відділення, вилучення, відміну) – це процес вилучення із сорбентів поглинутих газів або парів рідин. Десорбцію застосовують для повторного використання сорбента – вони дорогі і доцільне їх багаторазове використання.

Десорбція здійснюється шляхом ректифікації, нагрівання, окиснення, створення вакууму. Якщо при абсорбції утворюється розчин, то десорбція здійснюється ректифікацією (відгонкою) в потоці інертного газу або водяної пари шляхом нагрівання абсорбента і зменшення тиску над абсорбентом; якщо ж утворюється нестійка хімічна сполука, то її розкладають шляхом нагрівання насиченого абсорбенту чи окиснення її киснем повітря. Десорбцію в потоці інертного газу здійснюють у насадкових або тарілкових колонах, при цьому розчин газу подається в колону зверху, а знизу продувається інертний газ; із нижньої частини колони відводиться регенований розчин, а із верхньої – виділений газ у суміші з інертним газом.

Десорбцію під вакуумом комбінують із перегонкою і застосовують у випадках, коли кип'ятінням під атмосферним тиском неможливо досягти повного виділення компонента з сорбента. У процесі сублімації під вакуумом вихідний газоподібний компонент з апарата витягується вакуум-насосом.

Хемосорбція – процес поглинання газів сорбентами з утворенням нестійких хімічних сполук. Так, наприклад, звичайна вода здатна поглинати вуглекислий газ з утворенням вуглекислоти, яка при нагріванні або зменшенні тиску легко розкладається на воду та вуглекислий газ.

### ***Фізичні основи процесу абсорбції***

Розчинність газів у рідині залежить від властивостей газу і рідини, від температури і парціального тиску газу, який розчиняє. Процеси сорбції описуються законом Генрі – розчинність газу в рідині прямо пропорційна парціальному тиску газу над нею, тобто

$$X = P / \psi ,$$

де  $X$  – кількість розчиненого в рідині газу, моль/м<sup>3</sup>;  $P$  – парціальний тиск газу, Па;  $\psi$  – коефіцієнт Генрі, який залежить від властивостей абсорбента, газу та їх температури.

Розчинність газів у рідині збільшується зі збільшенням тиску і зниженням температури. Практичними дослідженнями доведено, що кількість абсорбованої речовини прямо пропорційна поверхні контакту фаз газу та рідини. Для збільшення поверхні контакту в абсорберах користуються різноманітними методами: пропусканням газу через башту з насадкою, пропусканням дрібних бульбашок газу через шар рідини, пропусканням газу через простір, заповнений розпиленою рідиною тощо.

На основі вказаних методів працюють абсорбери відповідних конструкцій. Для розрахунку кількості речовини (газу), яка абсорбується ( $\chi$ ), можна скласти таке рівняння:

$$\chi = k \cdot F \cdot \Delta C \cdot \tau ,$$

де  $k$  – коефіцієнт абсорбції;  $F$  – площа поверхні контакту, м<sup>2</sup>;  $\Delta C$  – середня рушійна сила процесу, кг/м<sup>2</sup>;  $\tau$  – тривалість процесу, с.

Оптимальні витрати абсорбента визначаються на основі досліджень або відповідних розрахунків.

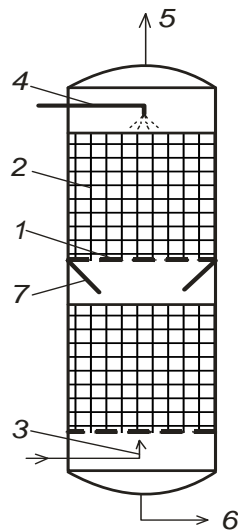
### ***Будова та принцип дії установок абсорбції***

Апарати, у яких здійснюється процес поглинання пари чи газу рідиною, називаються абсорберами або скруберами. Конструктивно абсорбер – це металева колона або інший видовжений апарат з насадками чи тарілками, в нижню частину якого подається газ, а у верхню – рідина. Газ вилучається з абсорбера зверху, а рідина – знизу.

Абсорбери повинні забезпечувати максимальну поверхню контакту газової, рідкої та твердої фаз. За способами утворення цієї поверхні абсорбери поділяють на чотири групи. У абсорберів I групи поверхня абсорбції – дзеркало рідини. Для них характерна фіксована поверхня контакту, що визначається геометрією будови елементів абсорбера. До II групи належать розпилювальні абсорбери, в яких поверхня контакту утворюється шляхом розпилення рідини у масі газу на дрібні краплі і визначається гідродинамічним режимом (витратами рідини). До найпростіших абсорберів цього типу можна віднести різні системи пиловловлення у гірничих виробках, де використовується розпилена вода з розчинами поверхнево активних речовин. Основні види розпилювачів: форсунокові, швидкісні прямоточні, механічні (оберткові). Абсорбери III групи – барботажні. Поверхня контакту в них визначається гідродинамічним режимом (витратами газу та рідини). Абсорбери IV групи – пінні. Поверхня контакту в них створюється при пропусканні газу знизу вгору через рідину зі швидкістю, при якій напір газу урівноважує масу рідини. Внаслідок цього рідина «зависає» в потоці газу і створює з ним шар динамічної піни (плівки, струмені, цівочки, бризки рідини), які швидко рухаються упереміш з бульбашками, вихорами газу.

Найбільшого поширення у промисловості набули насадкові і тарілкові абсорбери. Вони прості за конструкцією і працюють з досить високою ефективністю.

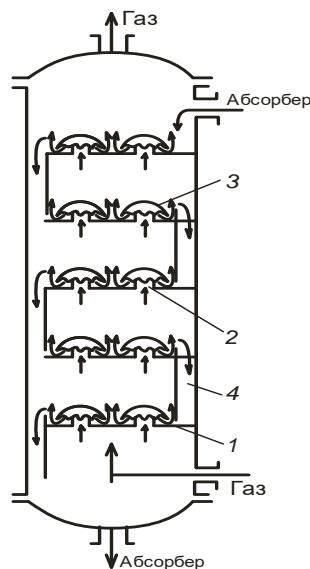
Розглянемо будову насадкового абсорбера (рис.13.1). Конструктивно насадковий абсорбер – це металічна чи керамічна колона, у якій розміщені горизонтальні решітки 1 з розташованими на них шарами насадки 2 (кокс, металічні чи керамічні кільця тощо), які призначені для збільшення поверхні контакту газу з рідиною. Суміш газів надходить в нижню частину колони трубопроводом 3, а абсорбент, що подається трубою 4, стікає вниз по насадці назустріч суміші газів. В результаті протипотокового контакту газу і рідини відбувається поглинання одного з компонентів газової суміші в абсорбенті. Непоглинуті компоненти газової суміші вилучаються з абсорбера по трубопроводу 5, а насичений абсорбент витікає знизу трубопроводом 6. Конуси 7 між секціями насадки 2 спрямовують абсорбент до центру для більш рівномірного зрошення.



**Рисунок 13.1** – Насадковий абсорбер:

1 – горизонтальні решітки; 2 – насадка; 3 – трубопровід для подачі суміші газів;  
4 – трубопровід для подачі абсорбенту; 5 – трубопровід для відведення непоглинутих компонентів газової суміші; 6 – трубопровід для відведення насиченого абсорбенту; 7 – конус

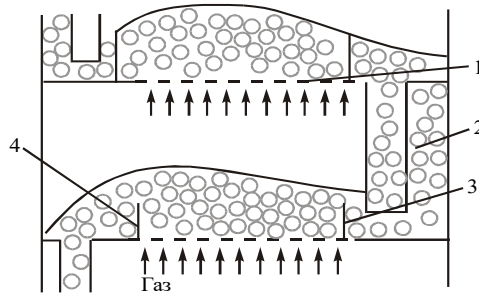
Тарілковий абсорбер (рис. 13.2) має вигляд колони, всередині якої розташовані тарілки 1, з патрубками 2, ковпачками 3 з зубчастими краями і переливними трубками 4. Абсорбент стікає з тарілки на тарілку по переливних трубках, а суміш газів рухається знизу вгору, барботуючи через шар рідини. При проходженні між зубцями ковпачків газовий потік розбивається на безліч дрібних бульбашок, що забезпечує велику поверхню контакту газу і рідини.



**Рисунок 13.2** – Тарілковий абсорбер:

1 – тарілка; 2 – патрубок; 3 – ковпачок; 4 – переливні труби

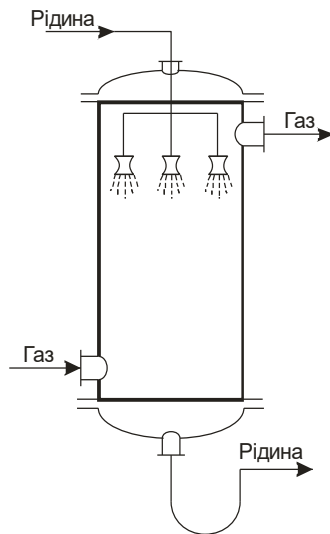
У ситових адсорберах (рис.13.3) замість тарілок з ковпачками вставлені тарілки з багатьма отворами – ситами. Ситова тарілка має отвори діаметром від 3 до 5 мм, живий переріз тарілки близько 10 %. Газ проходить через отвори в тарілках, а рідина переливається з однієї тарілки на другу по переливних патрубках і затримується на тарілках під тиском газу.



**Рисунок 13.3** – Схема абсорбера з ситовими тарілками:

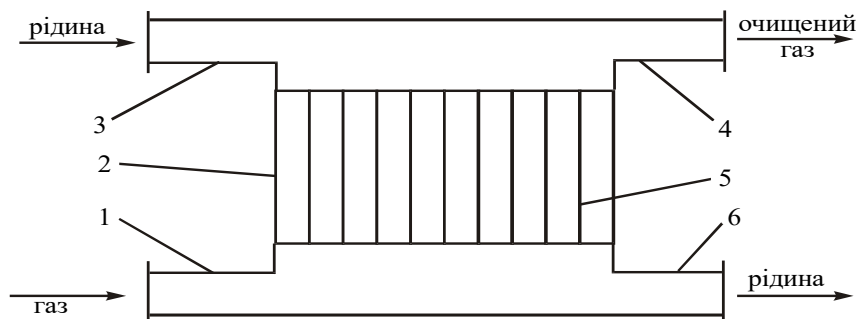
1 – ситова тарілка; 2 – переливний патрубок; 3, 4 – переливні пороги

Розпилювальні абсорбери (рис. 13.4) працюють за принципом контакту фаз у результаті розбризкування рідини в газовому потоці.



**Рисунок 13.4** – Схема розпилювального абсорбера

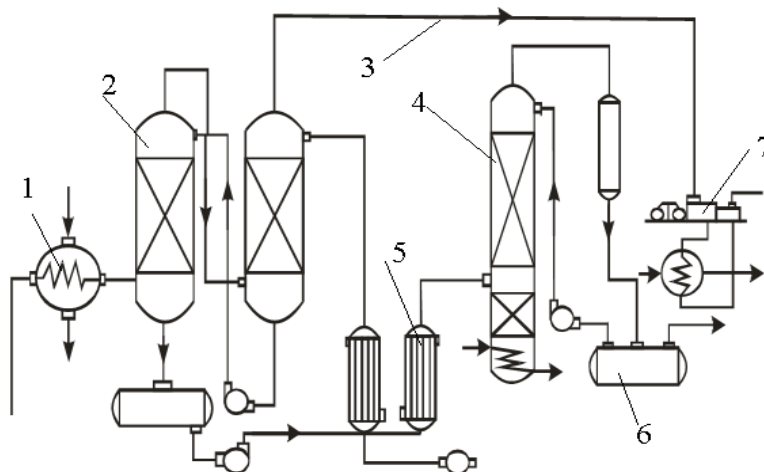
У плівкових абсорберах (рис.13.5) рідина надходить в апарат зверху через патрубок 3, стікає по внутрішній поверхні трубок 5 у вигляді тонкої плівки і виходить через патрубок 6. Назустріч їй знизу піднімається газ, який необхідно очистити (розділити). Входить газ в апарат знизу через патрубок 1 і виходить через патрубок 4 у верхній частині абсорбера.



**Рисунок 13.5** – Схема плівкового абсорбера:

1, 3, 4 і 6 – патрубки; 2 – корпус; 5 – трубки

Установки абсорбції призначені для вилучення окремих газів із сумішей рідкими сорбентами. Типова одноступенева установка абсорбції (рис.13.6) складається з таких основних елементів – абсорбер, посудина чистого сорбенту, десорбер, холодильник. За конструкцією скрубер аналогічний насадковій ректифікаційній колоні, тобто, весь простір корпусу заповнений насадковими кільцями. Конструкція десорбера схожа з конструкціями ковпачкових або жолобкових ректифікаційних колон.



**Рисунок 13.6** – Схема абсорбційної установки:

1 – холодильник; 2 – абсорбери; 3 – відведення непоглинутих газів; 4 – ректифікаційна колона; 5 – теплообмінник абсорбенту; 6 – збірники абсорбенту; 7 – компресор

Для охолодження чистого сорбенту використовують кожухотрубні теплообмінники, через які пропускають охолоджені водні розчини солей – "розсоли". Розсоли попередньо охолоджують на аміачних холодильних установках.

Крім згаданого вище обладнання на установках абсорбції розташовують компресорні та насосні станції, проміжні посудини для запасу сорбенту, газові резервуари або газгольдери.

Принцип дії таких установок можна розглянути на прикладі розділення двокомпонентної суміші газів.

Суміш газів А+Б під тиском подається в нижню частину скрубера і підіймається верх. Назустріч їй по насадкових кільцях стікає холодний рідкий сорбент і поглинає з суміші газ А, а газ Б виходить через шоломову трубу для подальшого використання.

Насичений сорбент збирається у посудину, перекачується в верхню частину десорбера і стікає по тарілках вниз. Десорбер в нижній частині підігрівається водяною парою. Завдяки підігріву та значному зменшенню тиску газ А вилучається із сорбенту та відводиться з десорбера для подальшого використання.

Чистий сорбент збирається у посудину, далі прокачується крізь холодильник для охолодження і знову повертається у скрубер.

Для більш ретельного вилучення окремих газів з сумішей використовують багатоступеневі установки абсорбції, в яких суміш газів послідовно прокачують через декілька скрубєрів.

### **Протипожежний захист абсорберів**

Основні апарати абсорбційних установок розташовують на відкритих майданчиках. Для запобігання розливанню горючих абсорбентів на майданчиках навколо абсорбційних колон і збірників абсорбенту влаштовують бортики висотою не менше 14 см.

Перед пуском абсорбери необхідно оглянути, перевірити справність і готовність до роботи всіх пов'язаних з ними апаратів і трубопроводів, справність контрольно-вимірювальних приладів, регуляторів температури і тиску, вимірників рівня рідини в нижній частині колони, рефлюксних посудинах і посудинах залишку.

Запускають установку в роботу за встановленою послідовністю, яка повинна бути вказана в технологічній інструкції.

Для ефективності процесу поглинання в абсорберах встановлюють невелику робочу температуру, а для зменшення втрат рідини в процесі її використання застосовують важколеткий (з високою температурою кипіння) абсорбент. В результаті цього температурний режим абсорбції менший від нижньої температурної межі поширення полум'я абсорбента і горюча концентрація в апаратах не утворюється. При вловленні горючих компонентів з паро- чи газоповітряної суміші доцільно, щоб установка працювала при температурі нижчій від НТМПП парів. Посудини, в яких концентрація парів знаходиться в межах займання чи вище ВКМПП, обладнують дихальними клапанами. Дихальні труби виводять за межі виробничого приміщення і захищають вогнеперешкоджувачами.

Абсорбери, що працюють під тиском, обладнують запобіжними клапанами. Для вловлювання рідини, яка може бути викинута разом з парами і газами через запобіжний клапан назовні, на лінії за запобіжним клапаном слід розташовувати сепаратор. Рівень рідини в сепараторі не повинен перевищувати встановлену межу.

Підтримують заданий рівень рідини в абсорберах, а на лініях відведення абсорбенту влаштовують гідравлічні затвори. Для запобігання пошкодженню абсорбера контролюють температурний режим і тиск; з цією метою використовують системи автоматичного регулювання робочого тиску і температури.

Щоб запобігти корозії матеріалу абсорберів і утворення самозаймистих на повітрі сульфідів заліза, необхідно брати пробу сировини, що надходить на абсорбцію, для контролю кількості домішок у ній. Гранично допустима кількість кородуючих домішок в сировині повинна бути вказана в інструкції. Для запобігання інтенсивній корозії використовують високоякісний матеріал, стійкий до цього виду корозії, і використовують поверхневі методи захисту стінок апаратів від корозії. Очищувати внутрішню поверхню абсорбера слід обережно, неіскроутворюючими інструментами; якщо в абсорбері є

відкладення, здатні до самозаймання на повітрі, очищення слід проводити при постійному змочуванні поверхні водою або іншою негорючою рідиною. Відкладення, що знімаються із стінок при очищенні, необхідно складати в металевий посуд і вилучати з приміщення чи з установки.

У зимовий час на відкритих абсорбційних установках необхідно не рідше одного разу на зміну перевіряти стан колон, продуктопроводів водяних ліній, дренажних відростків на паропроводах і апаратах, спускових ліній тощо. У цей період слід забезпечити безперервний рух рідини в комунікаціях (особливо з водою) для запобігання їх розриву. Спускові та дренажні лінії, а також найбільш небезпечні ділянки для подачі води, луку, інших рідин, що замерзають, повинні бути утеплені.

При виявленні витоків в абсорберах необхідно після зниження внутрішнього тиску в апаратах подати водяну пару або азот до місць пропуску для запобігання можливому займанню або утворенню сумішей вибухонебезпечних концентрацій.

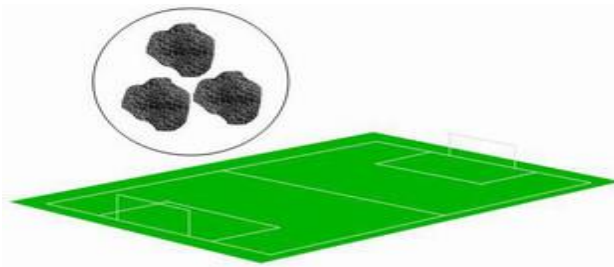
У цехах, де розташовані абсорбери, і на відкритих абсорбційних установках необхідно перевіряти наявність первинних засобів пожежогасіння і справність наявних стаціонарних систем пожежогасіння.

### 13.2. Пожежна безпека процесів адсорбції

Адсорбція (з лат. *ad* – на, *при*; *sorbere* – поглинати) – процес вибіркового поглинання газів чи парів з газових, парогазових і рідких сумішей поверхнею твердих поглиначів (адсорбентів). Речовина, що поглинається, але ще перебуває в об'ємі фази, називається адсорбтив, поглинута речовина – адсорбат.

Процес адсорбції використовують на нафтопромислах для вилучення парів бензинових фракцій з нафтового газу, для підготовки повітря для дихання, у фармацевтичній промисловості, для вилучення парів розчинників у технологічних процесах виготовлення штучних волокон, штучної шкіри, для вилучення парів розчинників з повітря в процесах фарбування і сушіння – адсорбція не тільки дає можливість повернути у виробництво дорогі розчинники, а і зменшує забруднення довкілля. У харчовій промисловості адсорбція використовується для очищення дифузійного соку в цукровому виробництві, для очищення спирту від сивушних масел, сиропів у крохмальному виробництві, для очищення і стабілізації вин, рафінування олії, стабілізації процесу очистки газів, каналізаційних стічних вод тощо. Адсорбцію використовують у тих випадках, коли з суміші необхідно виділити незначні кількості речовин.

В якості адсорбентів промислових адсорберів використовують активоване вугілля (деревне, кам'яне, кісткове), силікагелі (гелі силіцієвої кислоти), алюмогелі, цеоліти, іоніти, аеросил, глини тощо. Адсорбенти мають значну пористу структуру з великою питомою поверхнею. Із твердих речовин, що мають високу адсорбційну здатність, найбільш розповсюджене активоване вугілля, 1 г має 600...1700 м<sup>2</sup>,  $d = 1...5$  мм. Тобто, на 1 кг активованого вугілля припадає до 10<sup>6</sup> м<sup>2</sup> ефективної адсорбційної поверхні, а площа поверхні 3 г активованого вугілля більша за площу поверхні футбольного поля (рис. 13.7).



**Рисунок 13.7** – Схема порівняння площі поверхні 3 г активованого вугілля і площі поверхні футбольного поля

Активоване вугілля отримують в результаті сухої перегонки відповідної сировини (деревини, тирси, кісточок з фруктів, кісток тварин, відходів шкіри та інших матеріалів) з подальшим вилученням смолистих речовин з пор цих речовин. Використовують його у вигляді гранул розміром 1...7 мм або порошоків з частинок розміром 25... 250 мкм.

В адсорбційних процесах часто використовують силікагелі, в яких питома поверхня 300...800 м<sup>2</sup>/г, а насипна густина 100...600 кг/м<sup>3</sup>. Силікагель (зневоднений гель кремнієвої кислоти) відрізняється від активованого вугілля однорідністю пор, рівномірним їх розподілом по об'єму частинки і здатністю витримувати високі температури. Алюмогель (суміш нормального гідрату оксиду алюмінію з полігідратами) широко використовують для висушування газів, питома поверхня його 200...600 м<sup>2</sup>/г.

Такі абсорбенти, як цеоліти, – водні алюмосилікати природного або синтетичного походження (шабазит, клиноптилоліт) – мають у 2...4 рази більшу поглинальну здатність, ніж силікагелі. Вони застосовуються для очищення газів компресорно-холодильних установок, для концентрування соків тощо. У харчовій промисловості часто застосовують і природні глинисті адсорбенти, такі як діатоміти, бентоніти, наприклад, для фільтрації пива, для знебарвлення олії, для освітлення вин тощо. Вони дешеві, мають меншу питому поверхню (30...150 м<sup>2</sup>/г), але їх у природі багато. Глини (інфузорна земля, трепел) із меншою питомою поверхнею пор, ніж в усіх згаданих раніше матеріалів – 200...400 м<sup>2</sup>/г.

До адсорбентів також відносяться природні і синтетичні іоніти, що мають властивість обмінювати іони на еквівалентну кількість іонів із розчину, з яким вони взаємодіють. За допомогою іонної адсорбції проводять технологію знесолювання води для пірокотельних установок, демінералізацію та очищення соків, сиропів та ін. Іонітові адсорбенти легко піддаються регенерації.

На швидкість адсорбції впливають такі чинники як температура газової суміші, тиск газової суміші, властивості та концентрація речовини, що поглинається, властивості адсорбента (статична і динамічна активність).

З суміші газів і парів в першу чергу і в більшій кількості поглинається той компонент, який має вищу температуру кипіння (менший тиск насиченої пари).

Статична активність – кількість речовини, що поглинається одиницею маси (або об'єму) адсорбенту з нерухомої газової суміші. Динамічна активність – кількість речовини, що поглинається одиницею маси (або об'єму) адсорбенту при русі через адсорбент газової суміші до моменту насичення. Динамічна активність завжди менша за статичну.



### Фізичні основи процесу адсорбції

Існує декілька теорій, що пояснюють процеси адсорбції. Розрізняють фізичну адсорбцію і хімічну (хемосорбцію). Фізична адсорбція пояснюється взаємним притяганням молекул адсорбента та адсорбованого компонента суміші (Ван-дер-Ваальсові сили). Хемосорбція відбувається в результаті хімічної реакції між адсорбентом і адсорбуючою речовиною.

Швидкість адсорбції коливається в широкому діапазоні і залежить від властивостей адсорбенту та адсорбуючої речовини.

Іноколи процес адсорбції супроводжується виділенням значної кількості теплоти, при цьому відбуваються процеси зміни стану молекул адсорбенту і адсорбтиву. Як будь-який сорбційний процес, адсорбція прискорюється зі зниженням температури і підвищенням тиску. З підвищенням температури відбувається процес десорбції.

Фізична адсорбція є зворотним процесом, умова рівноваги визначається однаковими швидкостями адсорбції молекул адсорбтиву  $P$  на вакантних місцях поверхні адсорбенту  $S^*$  і десорбції – звільнення адсорбату зі зв'язаного стану  $S-P$ :  $S^* + P \leftrightarrow S-P$ ;

Умова рівноваги визначається рівнянням:  $K = \frac{[S-P]}{[S^*] \cdot [P]}$ ,

де  $K$  – константа рівноваги,  $[S-P]$  і  $[S^*]$  – частки поверхні адсорбенту, які зайняті і незайняті адсорбатом, відповідно,  $[P]$  – концентрація адсорбтиву.

Кількісно процес фізичної мономолекулярної адсорбції описується рівнянням Ленгмюра (міжмолекулярною взаємодією адсорбату нехтують) :

$$\theta = \frac{\alpha \cdot P}{1 + \alpha \cdot P},$$

де  $\theta$  – частка площі поверхні адсорбенту, яка зайнята адсорбатом,  $\alpha$  – адсорбційний коефіцієнт Ленгмюра,  $P$  – концентрація адсорбтиву. Оскільки  $[S-P] = \theta$  і, відповідно,  $[S^*] = 1 - \theta$ , рівняння адсорбційної рівноваги має вигляд:

$$K = \frac{\theta}{(1-\theta) \cdot P}$$

Рівняння Ленгмюра – одна з форм рівняння ізотерми адсорбції, залежність рівноважної величини адсорбції від концентрації адсорбтиву  $a=f(C)$  при постійній температурі ( $T=const$ ). Концентрація адсорбтиву для випадку адсорбції з рідини виражається, як правило, в мольних або масових частках. Часто, особливо у випадку адсорбції з розчину, користуються відносною величиною:  $C/C_s$ , де  $C$  – концентрація,  $C_s$  – гранична концентрація (концентрація насичення) адсорбтиву при даній температурі. У випадку адсорбції з газової фази концентрація може бути виражена в одиницях абсолютного тиску, або в відносних одиницях:  $P/P_s$ , де  $P$  – тиск пари,  $P_s$  – тиск насичених парів речовини. Величину адсорбції можна виразити також в одиницях концентрації (відношення числа молекул адсорбату до загального числа молекул на границі розділу фаз). Для адсорбції на твердих адсорбентах користуються відношенням маси чи кількості поглинутої речовини до маси адсорбенту, наприклад мг/г чи ммоль/г.

Залежність, що виражає статику процесу, називають рівнянням ізотерми адсорбції. У найзагальнішому випадку рівноважна концентрація тим вища, чим більшою буде молекулярна маса газу, що поглинається, чим більшим тиск у парогазовій фазі і нижча температура.

У процесі адсорбції звичайно виділяється значна кількість теплоти, і якщо її не відводити, температура шару адсорбенту підвищиться, що негативно позначиться на його активності.

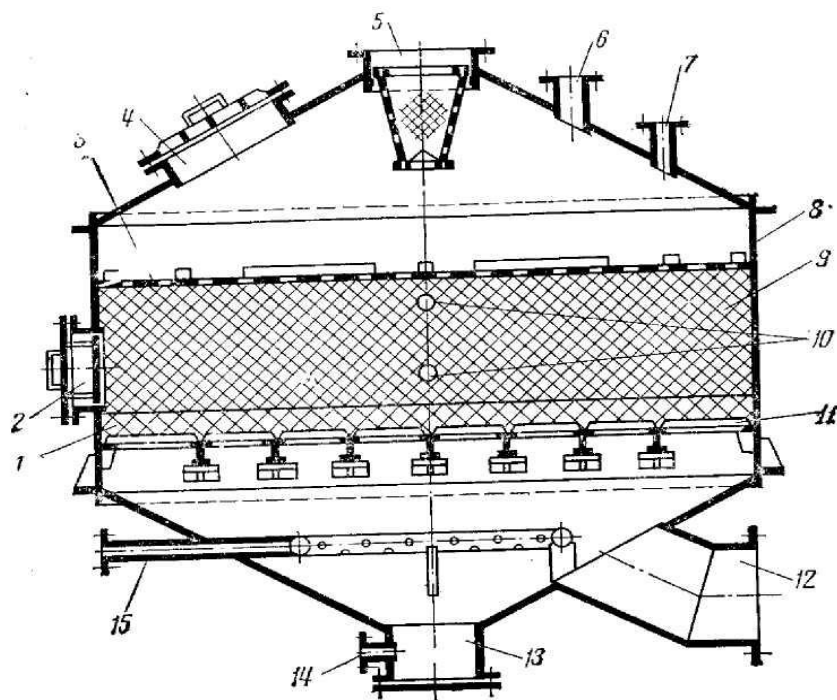
Процес адсорбції зворотний. У виробничих умовах зворотний процес (десорбція) нерозривно зв'язаний з прямим процесом. Процесу десорбції активно сприяє підвищення температури і зниження тиску в середовищі, що оточує адсорбент.

### ***Будова та принцип дії установок адсорбції***

Установки адсорбції призначені для вилучення парів окремих рідин з парогазових сумішей твердими сорбентами. У виробництві використовують адсорбери з нерухомим шаром адсорбенту, з рухомим шаром адсорбенту і з «киплячим» шаром адсорбенту.

Процес в апаратах з нерухомим (стаціонарним) шаром складається з чотирьох основних операцій: адсорбція газу (або інших елементів) із суміші, десорбція (очистка) активованого вугілля, сушіння вугілля, його охолодження. Після охолодження адсорбер знову включають на процес поглинання. Тому для безперервної роботи в установку включають декілька адсорберів, які по черзі включаються для виконання вищевказаних операцій.

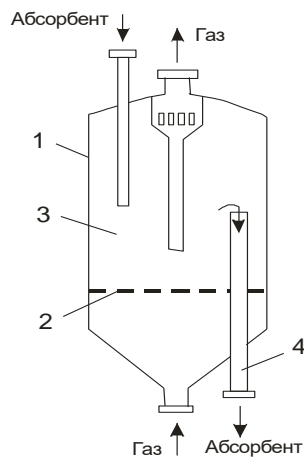
Адсорбери з нерухомим шаром адсорбенту – це вертикальні апарати колонного типу, заповнені гранульованим адсорбентом. В адсорберах цього типу всі стадії процесу протікають в певній послідовності і в одному апараті. Це – апарати періодичної дії. Їх застосовують в процесах нафтопереробки для адсорбційного очищення оливних фракцій, для осушення водневмісного газу тощо. Схема вертикального вугільного адсорбера зображена на рис. 13.8. Всередині циліндричного корпусу кріпиться колошникові решітка, на яку насипають шар гравію, а зверху – шар активованого вугілля. Пароповітряна суміш підводиться через патрубок 5. Після насичення адсорбенту (активованого вугілля) стадія адсорбції припиняється і починається регенерація адсорбенту, а після цього проводиться підготовка до наступного циклу роботи. Десорбцію вугілля проводять продуванням парою через патрубок 15 під тиском 0,11...0,15 МПа. Після десорбції весь апарат з адсорбентом охолоджують повітрям з навколишнього середовища. Адсорбери виготовляють різних розмірів; наприклад, у технологіях харчових виробництв діаметр апаратів 1...3 м, а висота шару вугілля 0,5...2,0 м.



**Рисунок 13.8** – Схема вертикального вугільного адсорбера:

1 – шар гравію; 2 – розвантажувальний люк; 3 – сітка; 4 – завантажувальний люк з вибуховою мембраною; 5 – патрубок подачі пароповітряної суміші; 6 – відведення пари при десорбції; 7 – патрубок для запобіжного клапана; 8 – корпус; 9 – шар вугілля; 10 – гнізда для термопар; 11 – колошникові решітка; 12 – відведення повітря; 13 – оглядовий люк; 14 – відведення конденсату; 15 – подача водяної пари

Адсорбери з «киплячим» шаром адсорбенту (рис. 13.9) дають можливість здійснити безперервний процес адсорбції. В цьому випадку використовується адсорбент у вигляді маленьких гранул. Адсорбер може мати один або декілька киплячих шарів, що забезпечують контакт фаз у режимі протитоку. В такому адсорбері відбувається контакт між газом та порошкоподібним адсорбентом, в результаті чого адсорбент переходить в стан високої рухливості. Газ рухається протитоком знизу вгору. Насичений адсорбент надходить у десорбер, регенерується і повертається назад у адсорбер.



**Рисунок 13.9** – Схема адсорбера з «киплячим» шаром адсорбенту:

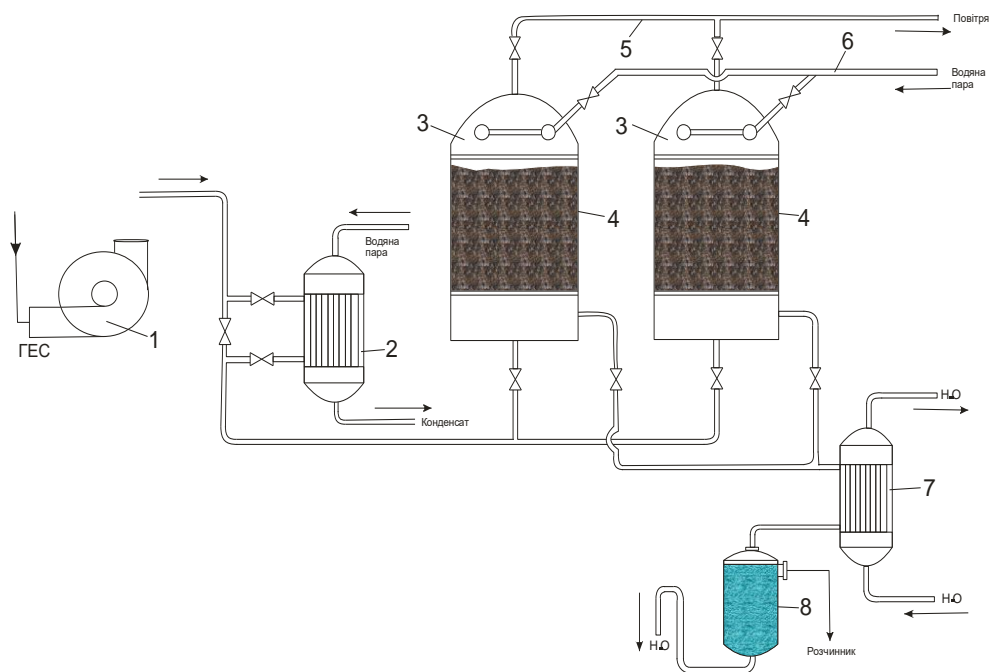
1 – корпус; 2 – решітка; 3 – «киплячий» шар адсорбенту; 4 – труба для відведення відпрацьованого адсорбенту

Адсорбери з рухомих шаром адсорбенту використовуються для добування етилену з його суміші з воднем та метаном, водню – з суміші газів. У цьому випадку кожна стадія процесу здійснюється в окремому апараті або частині апарата, при цьому адсорбент послідовно переміщається між адсорбером та десорбером по системі пневмотранспорту, і процес відбувається безперервно.

Установки адсорбції можуть бути як безперервної, так і періодичної дії. Найбільш поширеними є установки періодичної дії. Такі установки складаються з вентилятора пароповітряної суміші (ППС), рекуператора, холодильника-конденсатора, збірної посудини конденсату (рис. 13.10).

Рекуператор заповнюється твердим сорбентом – активованим вугіллям або негорючими силікагелями (цеолітами). Рекуператор працює у двох режимах: сорбції та десорбції. При режимі сорбції в рекуператор подається пароповітряна суміш і пари горючих рідин поглинаються сорбентом. Очищене повітря надходить у атмосферу.

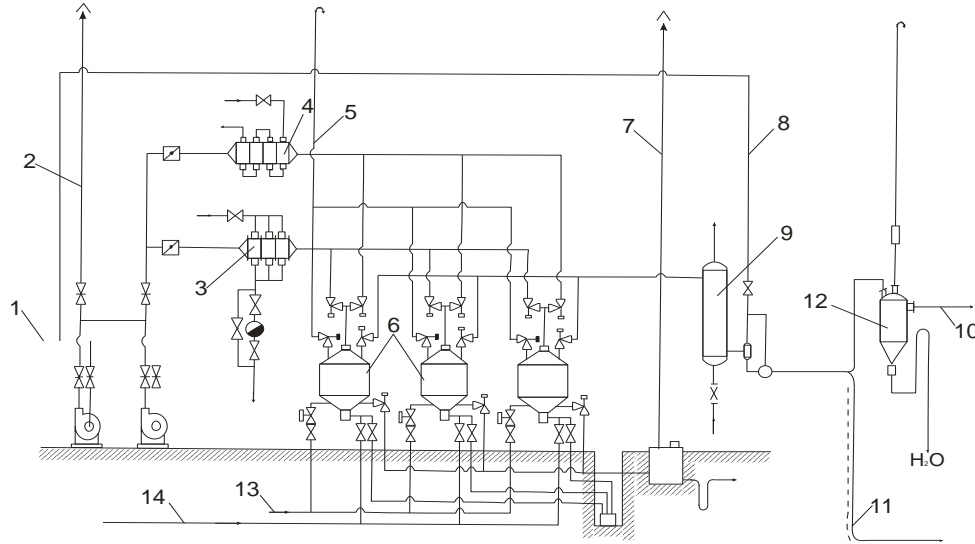
При режимі десорбції в рекуператор по окремому трубопроводу подається водяна пара. Завдяки підігріву із сорбенту вилучаються пари горючих рідин. Суміш парів конденсується у холодильнику-конденсаторі, а конденсат нагромаджується у збірній посудині. Для відділення горючої рідини з води використовують відстій або ректифікацію залежно від роду суміші, що утворюється, – емульсія чи розчин. Такі установки, як правило, включають не менше 3-х рекуператорів. При цьому один з них працює в режимі сорбції, другий десорбції, а третій – у резерві. Установки адсорбції розташовуються звичайно в окремих спеціальних приміщеннях. Установки безперервної дії мають дві робочі зони – сорбції та десорбції, а сорбент постійно переміщається між ними.



**Рисунок 13.10** – Схема адсорбційної установки:

- 1 – вентилятор; 2 – теплообмінник; 3 – адсорбери; 4 – активоване вугілля; 5 – повітряна труба; 6 – парова лінія; 7 – конденсатор; 8 – відстійник

**Рекуперация** (з лат. *recuperatio* – *повторне отримання*) – повернення частини матеріалів (чи енергії) для повторного використання в тому ж технологічному процесі. У такий спосіб дорогі розчинники вилучаються з відпрацьованих сумішей (рекуперация сировини) чи газоподібні продукти згорання, що відходять з апарата, нагрівають в рекуператорі сировину (рекуперация тепла) тощо.



**Рисунок 13.11** – Схема двофазної адсорбційної установки:

1 – лінія подачі пароповітряної суміші; 2 – труба аварійного викиду; 3 – підігрівач; 4 – холодильник; 5 – викид від запобіжних клапанів; 6 – адсорбери; 7 – лінія відпрацьованого повітря; 8 – повернення парів розчинника в адсорбери; 9 – конденсатор; 10 – відведення розчинника; 11 – розчин на ректифікацію; 12 – сепаратор для розділення утвореної емульсії; 13 – водяна пара на десорбцію; 14 – вода для гасіння вугілля в адсорберах

### **Протипожежний захист установок адсорбції**

За наявності на підприємстві адсорбційної (рекуперативної) установки, всі робочі місця в цехах і обладнання, яке пов'язане з використанням летких розчинників, обладнують системами для місцевої витяжки парів, укриття апаратів і машин максимально наближають до джерела виділення парів і герметизують їх. За наявності відкритих прорізів в укриттях швидкість руху повітря в них приймають рівною 2 м/с.

Для запобігання зупинці витяжки пароповітряної суміші адсорбційна установка повинна бути оснащена не менш ніж двома вентиляційними агрегатами, один з яких (резервний) вмикається автоматично при раптовій зупинці основного. Електроприводи основних і резервних вентиляторів передбачають від незалежних джерел живлення. Якщо через будь-які причини зупинилась робота і основних, і резервних вентиляторів, швидко зупиняють технологічний процес на всіх ділянках, обладнаних системами витяжки парів на станцію.

У випадку виходу з ладу адсорберів чи інших апаратів, витяжка пароповітряної суміші з цеху не повинна зупинятися, після чого адсорбційну станцію обладнують спеціальною трубою аварійного викиду, що розташовується за вентиляторами для викиду пароповітряної суміші назовні, здійснюють безперервний чи періодичний контроль за концентрацією леткого

розчинника в пароповітряній суміші, робота ліній ППС з концентраціями вище половини значення нижньої концентраційної межі поширення полум'я не допускається.

Вентилятори для транспортування ППС і двигуни до них виконують вибухозахищеними. Для виключення можливості самозагоряння активованого вугілля, що знаходиться в адсорберах, їх заповнюють тільки стандартним, певної марки вугіллям; контролюють, що кількість пилу у вугіллі не перевищувала 1 % (за масою); вимірюють температуру в різних точках шару вугілля; десорбцію здійснюють зволоженою насиченою водяною паром; витримують оптимальну висоту шару вугілля (1...1,5 м – для вертикальних адсорберів, 0,5...0,8 м – для горизонтальних). Для запобігання поширенню полум'я проти потоку пароповітряної суміші швидкість її руху приймають не менше 10...12 м/с. При підвищенні температури вугілля вище встановленої межі, експлуатацію адсорбера зупиняють.

Повітроводи виготовляють круглого перерізу з негорючих матеріалів. Для запобігання поширенню полум'я їх захищають вогнеперешкоджувачами, а для захисту від руйнування при вибуху – мембранними протизарядними пристроями. На витяжних патрубках кожної машини біля робочого місця і на повітроводах, що обслуговують окремі приміщення, встановлюють засувки для своєчасного від'єднання ліній у випадку пожежі.

Передбачають дистанційну зупинку відповідного вентилятора при виникненні пожежі із загрозою її поширення в лінії. Для вловлення з пароповітряної суміші твердих часточок встановлюють фільтри або циклони. Для запобігання конденсації парів в холодний період року і для захисту насадки вогнеперешкоджувача від обледеніння пароповітряні лінії захищають теплоізоляцією.

Слідкують за режимом конденсації парів розчинників при десорбції, не допускаючи переповнення сепараторів і посудин розчинником. Для захисту від підвищених тисків адсорбери обладнують пружинними запобіжними клапанами, а від руйнування при вибуху – мембранними клапанами. Для гасіння палаючого вугілля в адсорбері використовують стаціонарну систему водогасіння.

Пуск і зупинку адсорбційної установки слід здійснювати після узгодження з тими цехами, з яких проводиться витяжка парів горючих розчинників.

Адсорбційна установка повинна забезпечувати безперервну і повну витяжку парів горючих розчинників, що виділяється, від робочих місць.

Забороняється під'єднувати нові робочі місця, ділянки і цехи до ліній адсорбційної установки, якщо її потужність не розрахована на таке підключення. Під'єднання додаткових об'єктів призведе до зниження ефективності дії працюючої місцевої витяжки.

Концентрацію паро- і газоповітряної суміші, що надходить до адсорберів, необхідно систематично контролювати. Величину робочої концентрації і межі її коливань слід вказати в технологічних інструкціях.

Не можна допускати забруднення внутрішньої поверхні трубопроводів твердими горючими відкладеннями або рідким конденсатом. Фільтри або циклони для уловлювання з суміші, що транспортується, твердих домішок повинні бути справні і регулярно очищатися. Ділянки ліній, де спостерігається утворення конденсату, повинні бути утеплені і мати нахил для стікання рідини.

Лінії паро- або газоповітряної суміші необхідно надійно захищати вогнеперешкоджувачами. Число вогнеперешкоджувачів, їх вид і розміри вогнегасної насадки повинні відповідати проектним даним. Не дозволяється експлуатувати установку без вогнеперешкоджувачів або з вогнеперешкоджувачами, що не відповідають проекту.

Справність вогнеперешкоджувачів і мембранних клапанів необхідно регулярно перевіряти. Терміни перевірки вогнеперешкоджувачів і очищення вогнегасної насадки повинні бути вказані в цеховій інструкції.

Адсорбери повинні виключати можливість самозагоряння активованого вугілля, що знаходиться в них.

Повітряна труба для викиду суміші, що транспортується, в атмосферу при аварії або пожежі в адсорбційному цеху, не повинна заглушатися. Слід систематично перевіряти її готовність до роботи.

При перерві в роботі не можна залишати адсорбери з поглиненими горючими речовинами, а також з розігрітим вугіллям. В цьому випадку необхідно відігнати з вугілля горючу речовину і охолодити вугілля.

Необхідно перевіряти наявність і справність стаціонарної системи подачі води для гасіння вугілля в адсорберах, наявність первинних засобів пожежогасіння в приміщеннях станції рекуперації.

### **Запитання та завдання для самоконтролю**

1. Яка відмінність між процесами абсорбції та адсорбції? У яких виробництвах їх використовують?
2. Охарактеризуйте апарати, у яких здійснюються процеси поглинання пари чи газу над рідиною. Їх види.
3. Які чинники впливають на процеси сорбції?
4. Назвіть область застосування процесу абсорбції.
5. Які абсорбенти Ви знаєте? Охарактеризуйте їх вибухо- та пожежонебезпечні властивості.
6. Які особливості пожежної безпеки абсорбційних установок?
7. Які пристрої передбачено для запобігання розливанню горючих абсорбентів у випадку аварії абсорбційних колон і збірників абсорбенту?
8. Назвіть пристрої, які необхідно встановлювати для вловлювання рідини, що викидається разом з парами і газами через запобіжний клапан назовні.
9. Які заходи профілактики передбачено в процесі експлуатації абсорбційних установок?
10. Дайте визначення термінів адсорбція, адсорбтив, адсорбат.
11. Назвіть, який з різновидів сорбції використовують у тих випадках, коли з суміші необхідно виділити незначні кількості речовин.

12. Які чинники впливають на швидкість адсорбції?
13. Вкажіть який з компонентів в першу чергу і в більшій кількості поглинається з суміші газів і парів.
14. Опишіть схему вугільного адсорбера. Де знаходяться лінії для подачі води при пожежогасінні адсорбера?
15. Назвіть перелік заходів для виключення можливості самозагоряння активованого вугілля, що знаходиться в адсорберах.
16. З якою метою швидкість руху пароповітряної суміші в адсорбційних установках приймають не меншою 10...12 м/с?
17. Якими пристроями захищають адсорбери від підвищених тисків? Якими пристроями захищають адсорбери від руйнування при вибуху?
18. Яким чином очищають внутрішню поверхню адсорбера від відкладень, що самозаймаються на повітрі? Порядок складування таких відкладень.
19. Перелік робіт при виявленні витоків в адсорберах.
20. Які матеріали використовують в якості адсорбентів? Охарактеризуйте їх пожежну небезпеку.
21. Апарати для проведення процесів адсорбції та принцип їх роботи.
22. Охарактеризуйте пожежну небезпеку процесів адсорбції.
23. Які заходи пожежної профілактики передбачено при проведенні адсорбційних процесів?
24. Які фактори впливають на протікання процесів адсорбції?
25. Які джерела запалювання можуть виникнути при проведенні процесів адсорбції?



## РОЗДІЛ 14 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА ПРОЦЕСІВ РЕКТИФІКАЦІЇ

### 14.1. Загальна характеристика ректифікації

В хімічній, нафтопереробній та нафтохімічній промисловості більшість чистих за складом рідин отримують із сумішей за допомогою процесів ректифікації. Так отримують нафтопродукти із сирової нафти (бензини, гаси, солярні, мазути, масла тощо), спирти та ефіри з водних розчинів, бензол, толуол, ксилол, кисень та азот із скрапленого повітря.

Ректифікація (з лат. *rectus* – правильний, *facio* – роблю чи з пізньолат. «*rectification*» – виправлення) – складний масотеплообмінний процес розділення рідких сумішей за температурами кипіння шляхом багаторазового випаровування рідини та конденсації її парів.

У сучасному виробництві ректифікація здійснюється в спеціальних апаратах – ректифікаційних колонах, які є основними елементами ректифікаційних установок.

Ректифікаційна колона – це вертикальний циліндричний апарат із зварним (або збірним) корпусом, в якому розташовані масо- та теплообмінні пристрої (горизонтальні тарілки), який призначений для розділення рідин за температурами кипіння.



Рисунок 14.1 – Загальний вигляд ректифікаційних колон

**Класифікація ректифікаційних колон.** За будовою колони поділяють на прості – для розділення початкової суміші на дві частини; складні – для розділення суміші на декілька частин. Складна колона – набір простих колон. На простій ректифікаційній колоні можна повністю розділити тільки двокомпонентну суміш. Для розділення багатокомпонентних сумішей використовують поступове розділення на декількох простих колонах або одноразове на складних колонах. Наприклад, для розділення 3-компонентної суміші  $A+B+C$  можна використати дві прості колони. При цьому з першої колони буде отримана чиста фракція  $A$  та суміш  $B+C$ , а на другій чисті фракції  $B$  та  $C$ . Теж саме можна виконати на одній складній колоні, яка складається з двох простих, поставлених одна на одну. Такі колони можуть бути подвійні та потрійні. Використання тих чи інших колон залежить від складу початкової суміші.

За робочим тиском колони поділяють на вакуумні, атмосферні і колони, що працюють під тиском. Атмосферні колони – це колони, тиск у верхній частині яких незначно перевищує атмосферний і визначається опором комунікацій та апаратури, що розташована після колони на потоці парів ректифікату. Такі колони працюють під тиском насиченої пари сировини, що становить 0,15...0,7МПа (1,5...7 атм). Тиск в нижній частині такої колони залежить в основному від опору внутрішніх пристроїв і може значно перевищувати атмосферний (наприклад, колона для розділення суміші етилбензолу та ксилолів). Інколи тиск підіймають до 1МПа (10 атм) для збільшення різниці між температурами кипіння компонентів суміші. Наприклад, на блоках стабілізації бензинів для їх поділу на різновиди.

У вакуумних колонах створюється тиск, нижчий за атмосферний, для того щоб понизити робочу температуру процесу (температуру кипіння сировини) та уникнути розкладання продукту. Під розрідженням працюють колони для розділення мазуту, виробництва стиролу, синтетичних жирних кислот тощо. Величина залишкового тиску в таких колонах визначається фізико-хімічними властивостям продуктів, що розділяються. основною з яких є максимально допустима температура їх нагрівання без помітного розкладання. Такий прийом використовують для економії теплової енергії та для уникнення можливості розщеплення органічної сировини при місцевих перегрівих у трубчастих печах.

У колонах, що працюють під тиском, величина останнього може значно перевищувати атмосферний (колони газофракціонуючих установок, стабілізатори тощо).

Технологічне призначення колони визначає як робочі параметри процесу, так і особливості роботи контактних пристроїв колони. Відповідно до цього розрізняють колони атмосферних та атмосферно-вакуумних установок розділення нафти та мазуту, колони вторинної перегонки бензинів, колони каталітичного крекінгу. установок газорозділення, установок регенерації розчинників при депарафінізації мастил тощо.

За конструкцією тарілок ректифікаційні колони поділяють на ковпачкові, ситові або щілинні, клапанні, жолобчасті, насадкові або безтарілкові. Недоліком колон з ковпачковими тарілками є велика кількість рідини, що залишається на тарілках при її зупинці. Тарілки таких колон з ситовими або щілинними тарілками мають наскрізні отвори або щілини і флегма утримується на них тиском насиченої пари з нижчих тарілок. При зупинці колони та її охолодженні тиск нормується і рідина вільно стікає донизу. В колонах з клапанними тарілками отвори в тарілках закриваються клапанами.

У колонах з жолобчастими тарілками замість ковпачків використовують видовжені жолоби для затримки пари на час конденсації.

Корпуси колон з насадками або безтарілкових заповнюють насадками – металевими або фарфоровими кільцями. Випаровування та конденсація флегми відбувається в них безпосередньо на поверхні насадок. Вони використовуються для розділення найбільш простих сумішей.

## Будова та принцип роботи ректифікаційних колон

Ректифікаційні колони призначені для розділення рідин за температурами кипіння шляхом багаторазового випаровування та конденсації. Вони складні за конструкцією, великих розмірів та вибухопожежонебезпечні. Щоб правильно оцінити їх пожежну небезпеку і забезпечити протипожежний захист, необхідно знати їх будову, розуміти суть процесів, що там відбуваються.

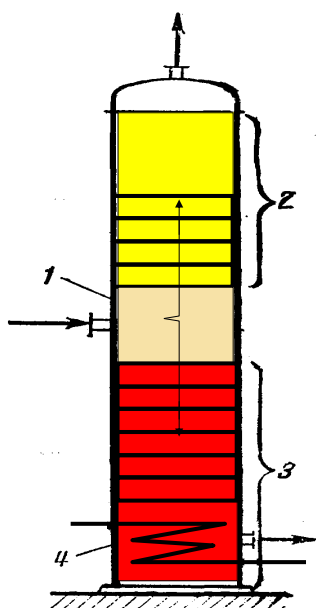
Обов'язковим елементом колони є дефлегматор, призначений для конденсації пари, що виходить з колони. Тарілка для живлення розділяє колону на дві частини: нижню (вичерпну) і верхню (укріплюючу).

Типова ректифікаційна колона складається з корпусу, який може виконуватись суцільним, зварним або складатися з циліндричних елементів, так званих "царг", що поєднуються на фланцях; труби подачі первинної суміші; підігрівача (куба), який може бути у вигляді вмонтованого змішувача або винесеного теплообмінника; труби відводу кубового залишку (для відводу важких фракцій на подальшу переробку або на склад); "юбки" чи опорної конструкції колони – для спирання колони на фундамент; "тарілок" – для проходження процесів випаровування та конденсації. Тарілки заповнюють весь простір колони, а їх кількість визначають залежно від складу первинної суміші; шоломової труби – для відводу парів легких фракцій; холодильника-конденсатора (дефлегматор) – для конденсації пари легких фракцій. Сконденсовані, чисті за складом, пари легких фракцій рідини називають "ректифікатом"; сепаратора – для розділення конденсату від залишків пари; розсікача; труби зрошування – для заповнення ректифікатом верхніх тарілок колони.

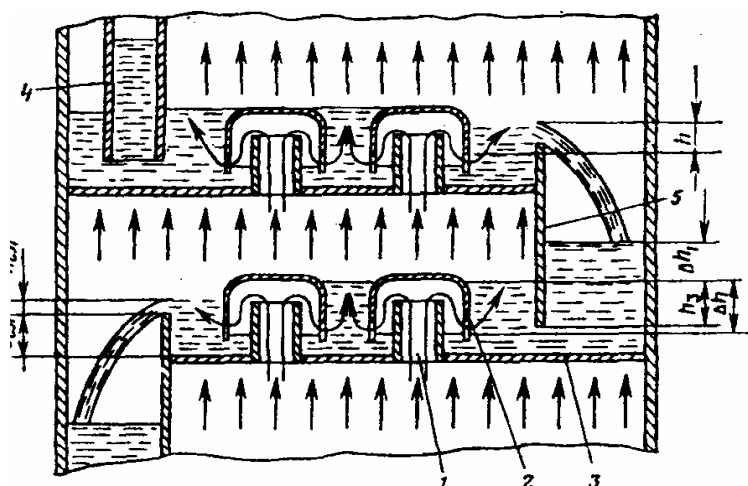
Крім перерахованих основних елементів, колони обладнуються великою кількістю допоміжних конструкцій. Це запобіжні клапани, насоси, засувки, паропроводи, ярусні майданчики для обслуговування, драбини та сходи, люки, системи автоматики тощо. Загалом колони мають досить складну конструкцію, а до складу установок ректифікації входять трубчасті печі, блоки теплообмінників та багато інших технологічних апаратів.

По вертикалі колона поділяється на три частини (рис. 14.2). Частина колони вище введення суміші називається укріплюючою (ректифікаційною), тому що в ній парова фаза укріплюється легкими фракціями. Частина колони, куди подається початкова суміш і де проходить її випаровування, називається евапораційним об'ємом. Евапораційна – зона кипіння початкової суміші. Частина колони нижче введення суміші називається відгонною (вичерпною), тому що в ній з флегми відганяються залишкові легкі фракції. Інша назва зони – кубова – зона кипіння важких фракцій.

У ректифікаційній колоні створюються два зустрічних потоки: пари, що піднімаються вгору і рідина, що стікає їм назустріч. Контакт між ними відбувається на горизонтальних тарілках. Основні процеси випаровування та конденсації відбуваються безпосередньо на тарілках колони. Простіше за все їх роботу розглядати на прикладі ковпачкової тарілки (рис. 14.3).



**Рисунок 14.2** – Зони ректифікаційної колони:  
 1 – евапораційна зона; 2 – укріплююча; 3 – кубова; 4 – нагрівник



**Рисунок 14.3** – Схема ковпачкової тарілки:  
 1 – корпус тарілки; 2 – ковпачок; 3 – дно тарілки; 4 – переливна труба

Ковпачки необхідні для затримування пари на час конденсації, переливні труби – для відводу важких фракцій на нижні тарілки;

Сировина вводиться в середню частину колони. До низу колони підводиться тепло, що забезпечує випаровування частини рідини та створення висхідного потоку парів. На верх колони подається холодне зрошення, яке забирає тепло та створює низхідний потік рідкої фази. На контактних пристроях колони флегма контактує з парами. В результаті флегма збагачується висококиплячими компонентами, а пари – низькокиплячими. Зверху колони виходять пари дистилляту, а з низу – рідкий залишок. Частина колони вище вводу сировини називається концентраційною, а нижня – відгонною.

### Процеси, що відбуваються на тарілках ректифікаційних колон

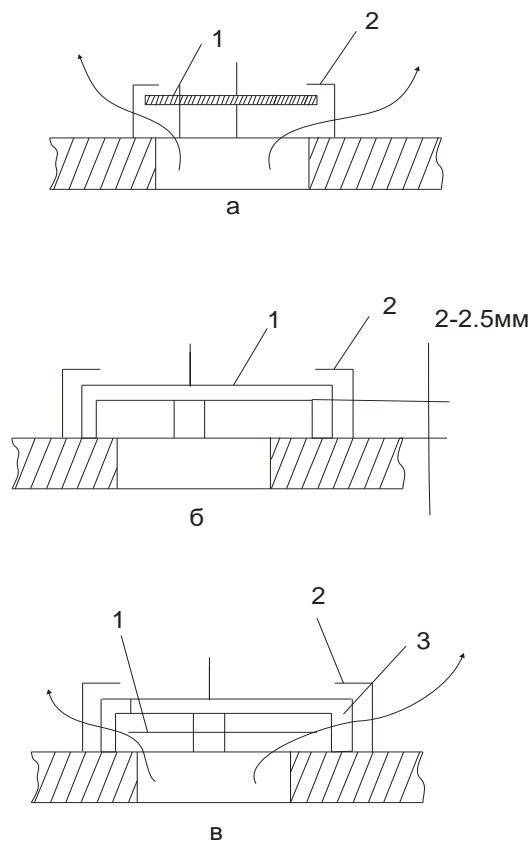
На кожній із тарілок підтримується температура кипіння відповідної флегми (проміжної суміші). Вона зменшується по висоті колони, оскільки на вище розташованих тарілках збираються більш легкі фракції. Різниця між температурами тарілок залежить від різниці температур кипіння складових суміші – фракцій, і при малих їх різницях може становити до 0,5 градуса.

При кипінні флегми її пара піднімається, потрапляє під ковпачок верхньої тарілки, пробулькує крізь флегму і конденсується. Конденсат знову починає кипіти. При цьому більше випаровується легкої фракції, а флегма збагачується важкою. Її надлишок перетікає по переливній трубці на нижню тарілку і починає кипіти на ній. Таким чином, на кожній з тарілок одночасно йдуть процеси випаровування та конденсації, що забезпечує їх багаторазове повторення для розриву міжмолекулярних сил зчеплення.

Пари ректифікату відводяться через шоломову трубу на конденсацію.

Для повного виключення проскоку молекул важких фракцій у шоломову трубу верхні тарілки колони заповнюються чистим ректифікатом через систему зрошування.

Для повного виключення проскоку молекул важких фракцій у шоломову трубу верхні тарілки колони заповнюються чистим ректифікатом через систему зрошування. Зрошення верху РК може бути гарячим або холодним. Гаряче більш економічне в експлуатації, але складніше при влаштуванні. Холодне застосовують для високопродуктивних та розташованих на відкритих майданчиках колон.



**Рисунок 14.5** – Клапанні тарілки:

а, б – з круглими клапанами; в – баластна; 1 – клапан; 2 – обмежувач; 3 – баласт

## Пожежна небезпека процесів ректифікації

Підвищена небезпека ректифікаційних систем у багатьох випадках зумовлена наявністю в апаратах великої кількості горючих та вибухонебезпечних парогазоповітряних сумішей, що знаходяться в перегрітому стані під високим тиском.

Особливо небезпечними є ректифікаційні колони при розгерметизації. Відома велика аварія, що сталася на установці ректифікації складної вуглеводневої суміші (1969 р., США). Уламки колони були розкидані в радіусі до 500 м, а одна секція була відкинута на 914 м від епіцентру вибуху. Повністю або частково була зруйнована значна частина виробних і житлових будівель, а в будинках, що знаходяться в радіусі 20 км, було вибите скло. Пожежа, що сталася від вибухового горіння, тривала протягом 60 годин. Витрати на відновлення зруйнованих технологічних установок склали понад 5 млн. дол.

Розглянемо більш детально причину аварії. За нормального режиму роботи агрегату ректифікації, на якому сталася аварія, в кубовому продукті (важкій фракції) містилось близько 35 % досить нестабільного вінілацетату; легка фракція, що відганялась, являла собою бутадиєн високої чистоти. Важка фракція кубової рідини з вмістом вінілацетату до 56 % була достатньо стабільною за нормального режиму процесу. Порушення режиму роботи системи ректифікації призвело до більш глибокої зміни складу рідини в нижній частині колони – вміст вінілацетату в кубовій рідині перевищив 60 %. Зменшення рівня рідини в кубі колони нижче за допустимий призвело до оголення трубок випарної камери (кип'ятильника), що нагрівалася парою під тиском 105 кПа. Збільшення концентрації вінілацетату в кубовій рідині та перегрів залишкового продукту на оголених поверхнях теплообмінних трубок кип'ятильника призвели до вибуху в кубовій частині ректифікаційної колони. Вибухом були відірвані кип'ятильники від колони, що призвело до інтенсивного витоку вуглеводню із системи через отвори, що утворилися. Вибух, що стався в колоні, призвів до детонації нестабільної частини вуглеводневої суміші, яка містила до 48 % вінілацетату, і знаходилася на нижніх тарілках вичерпної частини колони (в зоні 10-ої -15-ої тарілок).

Таким чином, оцінюючи вибухонебезпеку ректифікаційної колони, необхідно враховувати термостабільність вихідних сумішей та індивідуальних речовин, що входять до їх складу, кубового залишку та легкої фракції в рідкій і паровій фазах. За інших рівних умов вибухонебезпека ректифікаційних колон характеризується стійкістю технологічного режиму.

Продуктивність ректифікаційної установки визначається кількістю ректифікату, який необхідно отримати за одиницю часу або кількістю самої суміші, яку необхідно переробити за одиницю часу. Для оцінки пожежної небезпеки процесу необхідно знати кількість та властивості всіх речовин, що обертаються на ректифікаційній установці, – вихідної суміші, ректифікату, флегми, кубового залишку, пожежонебезпечні властивості яких неоднакові.

В кубовій частині великогабаритних колон і на тарілках колони може знаходитися велика кількість ЛЗР і ГР, що досягає декількох десятків тонн. Так,

наприклад, під час перегонки нафти на установці середньої продуктивності одночасно знаходиться до 20 тонн ЛЗР і ГР.

Показники пожежної небезпеки нафтопродуктів суттєво відрізняються. Так, температура спалаху для нафти становить від мінус 35 до 35 °С і вище, бензинів – від мінус 36 до мінус 7 °С, лігроїнів – від мінус 7 до 17 °С, гасу – від 15 до 60 °С і вище, мазутів – від 60 до 120 °С, мінеральних масел – від 120 до 220 °С. Аналіз цих даних показує, що у виробничих умовах навіть за нормальної роботи технологічного обладнання нафтопродукти можуть мати температуру, що лежить в температурних межах займання. Отже, горюча концентрація може утворюватися не тільки в пароповітряному просторі апаратів, але і при виході парів назовні. За нормального режиму роботи РК горюче середовище усередині апаратів не утворюється, оскільки доступ повітря до колони не можливий через незначний підвищений тиск, який створюють пари киплячої рідини, що разом з нею заповнюють весь переріз колони. Крім того, температура кипіння рідини завжди перевищує верхню температурну межу поширення полум'я.

Найбільшу небезпеку становлять апарати зі змінним рівнем рідини (мірники, проміжні ємності, збірники), якщо вони поєднані з атмосферою через дихальні клапани (труби), вакуумні ректифікаційні колони та апарати в періоди їх запуску до експлуатації, зупинки на ремонт, а також під час проведення ремонтних робіт.

Неповне звільнення колон та інших апаратів від продукту, неповне відключення від усіх, пов'язаних з ними, апаратів та недостатня продувка водяною парою або інертним газом при відкриванні люків призводять до утворення горючого середовища всередині апаратів. Головною причиною небезпеки працюючих колон та пов'язаних з ними апаратів є вихід назовні горючих парів і флегми через нещільності та місця пошкоджень.

Наслідки витоку залежать від місця пошкодження, від робочої температури в колоні і температури самозаймання горючої речовини. За цими умовами ректифікаційні колони умовно розділені на дві групи. Перша група – РК, що працюють за температури, яка не перевищує температуру самозаймання речовин (колони для виділення спиртів, ефірів, бензину, ароматичних вуглеводнів тощо). Виходячи назовні, горючі речовини можуть утворювати вибухопожежонебезпечні концентрації, але для запалювання цих сумішей необхідне зовнішнє джерело запалювання.

Під час ректифікації слабких водяних розчинів ЛЗР або ГР пожежна небезпека РК буде пов'язана лише з верхньою частиною колони, в якій знаходяться легкокиплячі фракції суміші (ЛЗР, ГР), а в нижній частині колони залишиться негорючий водяний розчин.

Друга група – РК, що працюють при температурі, яка перевищує температуру самозаймання речовин (колони для перегонки мазутів, кам'яновугільних смол, колони крекінгу нафти тощо). Небезпека цих колон зумовлена небезпекою нижньої частини колони, з якої відводиться перегрітий продукт, що спалахує, контактуючи з повітрям.

При експлуатації ректифікаційних установок можуть створюватися умови для утворення горючого середовища не тільки під час аварій, але і в результаті невеликих витоків. Цьому сприяє наявність в колонах великої кількості різноманітних з'єднань. Колони мають значну кількість люків та патрубків для приєднання трубопроводів, контрольних трубок, захисних приладів тощо. Невеликі витoki через нещільності, що утворюються в корпусі колони, не завжди можна швидко виявити, оскільки колони для підтримання постійного температурного режиму та для зменшення втрат тепла в навколишнє середовище мають теплоізоляцію. Продукт, що виходить назовні, просочує теплоізоляцію, утворюючи на поверхні маслянисті плями. За умови нещільного прилягання теплоізоляції до корпусу колони горюча рідина стікає по стінці вниз, просочує теплоізоляцію на великій площі. Тому пожежа, що виникає, супроводжується поширенням вогню не тільки по рідині, що розливається, але і по теплоізоляції, просоченій горючими рідинами. Наслідки аварій та витoki продукту через нещільності і пошкодження будуть різними в залежності від кількості та властивостей горючих рідин, що виходять, а також умов розташування ректифікаційних колон.

До появи нещільностей та пошкоджень РК можуть призвести механічні, температурні та хімічні впливи на апарати та їх матеріал. Часто причиною розгерметизації та пошкоджень є вібрація колон та трубопроводів за умов неякісного їх кріплення та впливу вітру (колони мають висоту до 60 м). Пошкодження колони внаслідок ерозії частіше всього виникає в місцях подачі вихідної суміші до колони та у верхній частині колони, де відбувається найбільш інтенсивний рух струменя речовин.

Небезпечні температурні впливи на матеріал апаратів і трубопроводів спостерігаються за умов різкої зміни температур, через вплив атмосферних опадів, при пошкодженні теплоізоляції, а також під впливом теплоти пожежі. Хімічній корозії піддаються в основному внутрішня поверхня корпусу колони, патрубки, ковпачки, тарілки та трубопроводи. Підвищенню хімічного зносу ректифікаційних установок сприяє наявність у нафтопродуктах сірчистих сполук, вільної сірки, хлористих солей кальцію і магнію, висока температура та безупинний рух струменів.

Однією з найбільш поширених причин виникнення аварійних ситуацій та аварій на установках первинної перегонки нафти та нафтопродуктів є підвищення тиску в РК в результаті порушення матеріального балансу апаратів; підвищення робочої температури; порушення процесу конденсації парів; попадання у високотемпературні колони рідин з низькою температурою кипіння; температурних впливів на матеріали апаратів і трубопроводів; хімічного зносу матеріалу апаратів і трубопроводів.

Порушення процесу конденсації парової фази, що надходить з колони до дефлегматора та до конденсатора-холодильника, є однією з причин підвищення температурного режиму, а отже, і тиску в колоні та інших апаратах установки. При цьому зменшується кількість флегми, що подається до колони, та кількість тепла, що відводиться від колони з парою. Зменшення кількості тепла, що



відводиться від колони з паровою фазою, при незмінній кількості тепла, що надходить з кип'ятильника, призводить до підвищення температури і тиску.

Причиною порушення нормального процесу конденсації парів у дефлегматорі-конденсаторі є зменшення або повна зупинка подачі холодоагенту (води, розсолу, скрапленого газу) або надходження його з більш високою початковою температурою, а також зменшення коефіцієнта теплопередачі від пари до холодоагенту при сильному забрудненні теплообмінної поверхні малотеплопровідними відкладеннями. При цьому конденсація пари зменшується або зупиняється зовсім. Частина пари, що не сконденсувалася, може виходити назовні через дихальну лінію на ємності ректифікату, створюючи навколо неї горючу пароповітряну суміш.

Велику небезпеку має потрапляння у високотемпературні колони рідин з низькою температурою кипіння. У практиці експлуатації високотемпературних колон при попаданні до них рідин з більш низькою температурою кипіння, ніж робоча температура в колоні, сталися деякі випадки значних аварій, що супроводжувалися руйнуваннями та пожежами. Така рідина, потрапляючи до високотемпературної колони, перегрівається та швидко закипає, утворюючи велику кількість перегрітої пари.

Подібне явище може виникати і в періоди пуску, якщо високо нагрітий продукт пускають до колони, в кубі якої знаходиться невелика кількість води, що залишилася після промивання або гідравлічного випробування. Розрахунки та випадки аварій показують, що тиск та динамічність впливу, які при цьому виникають, достатні для руйнування корпусу колони.

На одному з нафтопереробних заводів в період пуску установки після профілактичного ремонту стався вибух ректифікаційної колони, в результаті якого вона була повністю зруйнована. В момент руйнування колони відбулося спалахування нафтопродукту і горіння його на значній площі. При руйнуванні колони окремі уламки вагою 50-60 кг розлітались на відстані до 300 м. В результаті аварії були пошкоджені теплообмінні апарати, а також продуктові та мазутні лінії.

Дослідження показали, що розрив колони стався під час пуску «гострої» водяної пари, разом з якою з парової лінії до кубу колони потрапила велика кількість конденсату. Причиною таких вибухів може бути і потрапляння до нижньої частини колони води чи іншої рідини при невірному переключенні ліній.

До джерел запалювання, що можуть виникати при експлуатації ректифікаційних колон, слід віднести самозаймання перегрітих горючих рідин та парової фази при викидах назовні; високонагріті поверхні печей, реакторів, конструкцій; вогневі ремонтні роботи на території або на прилеглих технологічних установках; самозаймання горючих відкладень на внутрішніх поверхнях колон і трубопроводів, утворення пірофорних сполук; іскри під час роботи із небезпечним інструментом, ударах, терті; розряди статичної та атмосферної електрики тощо.

У разі виникнення пожежі на установках первинної перегонки нафти та нафтопродуктів її швидкому поширенню будуть сприяти такі чинники:

дзеркало розлитих рідин; паро-газоповітряні хмари, дихальні лінії та технологічні комунікації; теплоізоляція трубопроводів, комунікацій і колон, що просочена нафтопродуктами, поверхні етажерок колон.

Слід відзначити особливості пожежної небезпеки вакуумних колон. Процес ректифікації під вакуумом здійснюють для зниження температурного режиму при розподілі суміші речовин, що схильні до термічного розкладання або полімеризації. Величина робочого вакууму РК залежить від того, наскільки сильно необхідно знизити температуру перегонки розчину. Чим глибшим буде вакуум, тим нижча робоча температура перегонки. Розрідження в колоні створюють інтенсивною конденсацією парової фази в конденсаторі-холодильнику і за рахунок відсмоктування з нього газоподібних продуктів конденсату та пари.

Пожежна небезпека під час експлуатації вакуумних колон виникає при порушенні встановленої величини вакууму, що призводить до підвищення температурного режиму. Підвищення температурного режиму, а також поява нещільностей і пошкоджень особливо небезпечні для РК, що працюють під великим розрідженням, оскільки це призводить до ряду побічних небажаних процесів, в тому числі і до полімеризації або термічного розкладання речовин, що підлягають перегонці. Полімеризація супроводжується виділенням значної кількості тепла і відповідно підвищенням температури та прискоренням побічних реакцій. Це, в свою чергу, призводить до утворення полімерних пробок, виникнення високих тисків, виходу із ладу апаратів.

Порушення вакууму в колонах може статися за відсутністю нормальної конденсації парів в конденсаторах або при зупинці роботи пристроїв, що витягують пари та гази, які не конденсуються. Нещільності та пошкодження у вакуумній колоні та безповоротне втягування повітря призведуть при цьому не тільки до підвищення тиску і температури, але і створять можливість утворення горючої концентрації в колоні або в лінії за вакуум-насосами (після конденсації основної маси пари в конденсаторі частка кисню в продуктах, що не сконденсувалися, може зростати і досягти небезпечних меж).

## **14.2. Протипожежний захист процесів ректифікації**

Багато аварій, надзвичайних ситуацій на ректифікаційних колонах зумовлені недотриманням вимог пожежної безпеки як під час проєктування, так і при експлуатації технологічного обладнання. Особливу увагу при забезпеченні пожежної безпеки ректифікаційних установок необхідно звертати на фізико-хімічні та пожежовибухонебезпечні властивості сумішей, що розділяються, та індивідуальних речовин, що входять до їх складу, кубового залишку та легкої фракції в рідкій і паровій фазах, на особливості процесу ректифікації.

При цьому вибухопожежобезпека процесу ректифікації повинна характеризуватися високим рівнем та надійністю автоматизації процесів, так як порушення режиму, особливо тиску, в багатьох випадках є причиною розгерметизації обладнання та викидів горючих і вибухонебезпечних продуктів

в атмосферу. Так, внаслідок перевищення тиску до 163 кПа в кубі ректифікаційної установки (регламентований тиск 65 кПа) стався вибух ректифікаційної колони по звареному шву, що призвело до великого залпового викиду з технологічної системи легкозаймистих рідин – оцтової кислоти, етилацетату та їх парів з подальшою пожежею на виробництві.

Як було встановлено, підвищення тиску в кубі ректифікаційної колони викликане зупинкою конденсації парів, що виходили з колони, та подачі флегми на зрошення, оскільки раптово зупинилась подача охолоджуючої води до конденсаторів, а подача теплоносія до кубової частини колони не була припинена. Ректифікаційна установка не мала необхідних автоматичних систем блокування подачі пари до кип'ятильників та вихідної суміші до колони при зупинці подачі води на установку; відсутніми також були засоби сигналізації, що повідомляли б персонал цеху про зупинку подачі води, електроенергії та підвищення тиску в кубах колони.

Подібні аварії, що викликані перевищенням регламентованого тиску при переповненні рідиною або забиванні тарілок і насадок ректифікаційних колон відкладеннями, а також за інших причин відбуваються на багатьох виробництвах. Тому вибухобезпека процесу ректифікації повинна характеризуватися рівнем та надійністю автоматизації процесів, бо порушення, особливо режиму тиску, в багатьох випадках були причинами розгерметизації обладнання і викидів горючих та вибухонебезпечних продуктів до атмосфери.

Враховуючи складність технологічного процесу ректифікації однією з основних вимог забезпечення безаварійної роботи ректифікаційної установки є наявність та надійність засобів автоматичного регулювання: рівня та температури рідини в кубовій частині; температури вихідної суміші, що надходить на розподіл, та паро-газової фази верхньої частини колони; температури конденсату легкокиплячого компонента, що надходить на зрошення тарілок верхньої частини колони; тиску або його зміни у верхній та нижній частині колони.

У всіх випадках колони повинні бути постійно та надійно забезпечені теплоносіями і холодоагентами із заданими параметрами для обігріву кубової частини та конденсації. Слід постійно контролювати безперервне відведення кубового залишку (важкокиплячого компонента) та конденсату (легкокиплячого компонента).

Для захисту ректифікаційних колон від підвищених тисків на їх верхній частині встановлюють запобіжні клапани (пружинні чи манометричні). В колон з великою кількістю тарілок рекомендується встановлювати і в нижній (кубовій) частині. Для вловлення рідини, що викидається разом з парами і газами через запобіжний клапан, на лініях за ним монтують сепаратори, рівень рідини в яких не повинен перевищувати встановлених меж. Щоб при спрацюванні запобіжного клапана пари не надходили у виробничі приміщення чи в межі зовнішньої етажерки, від них прокладають відвідні лінії.

Також необхідно передбачати засоби сигналізації, що спрацьовують при зміні встановленого перепаду тисків між нижньою та верхньою частинами колони.

Для перевірки герметичності вакуумних колон і зв'язаних з ними апаратів контролюють кількість кисню, що міститься в неконденсованих продуктах після вакуум-насоса чи вакуум-ежектора. При падінні вакуума нижче гранично допустимого в такі колони подають водяну пару чи інертний газ.

Під час зупинки на ремонт РК необхідно повністю звільнити від залишків рідин, інтенсивно промити гарячою водою, пропарити водяною парою або продути інертним газом з обов'язковим контролем продувних газів щодо наявності в них горючих речовин.

Перед відкриванням люків до колони подається пара або інертний газ з метою вилучення інтенсивної вентиляції внутрішнього об'єму колони повітрям. При цьому люки відкриваються зверху вниз. Перед пуском до експлуатації РК продуваються парою або інертним газом і перевіряються на герметичність шляхом гідравлічного випробування.

Для запобігання порушення процесу конденсації пари необхідно постійно здійснювати контроль за температурним режимом у колоні і, зокрема, контролювати температурний режим роботи дефлегматорів і конденсаторів. В автоматичному режимі здійснюється контроль за подачею флегми до колони та холодоагентів до дефлегматора і до конденсаторів-холодильників. При зупинці подачі холодоагенту до дефлегматора роботу РК зупиняють. Своєчасне очищення від відкладень та забруднень теплообмінних поверхонь дефлегматорів і конденсаторів запобігає порушенню процесу конденсації парів.

Для запобігання забрудненню патрубків і отворів тарілок колон, трубопроводів коксом, смолами, полімерними відкладеннями, льодом, кристалогідратами тощо, суміш перед надходженням в колону пропускають через випарник. Для зниження інтенсивності процесу полімеризації до розчинів, які переганяються, додають інгібітори (сповільнювачі полімеризації) чи зменшують робочі температури (здійснюючи перегонку під вакуумом). Ректифікаційні колони для розділення розчинів, що полімеризуються, і розчинів з наявністю твердих продуктів розкладу обладнують двома чи трьома виносними кип'ятильниками, щоб, не зупиняючи роботу, колони можна було б почергово очищати від полімерів.

З метою запобігання підвищення тиску в колоні в результаті скипання низькокиплячих рідин, що можуть потрапити до неї, здійснюють контроль за наявністю води і конденсату після промивання та продувки колони, а також після гідравлічних випробувань.

Профілактика розгерметизації ректифікаційної установки при виникненні високих температурних напружень в стінках її обладнання внаслідок впливу атмосферних опадів або температури пожежі досягається постійним контролем за справністю теплоізоляції опорних металевих конструкцій, трубопроводів. Технологічні трубопроводи обладнують на прямих ділянках температурними компенсаторами.

До профілактичних заходів, спрямованих на захист матеріалу апаратів ректифікаційної установки від хімічного та механічного зносу, відносять: правильний вибір конструкційного матеріалу для виготовлення корпусу колони, тарілок, труб, прокладок; ізоляція металу від агресивного середовища

захисними покриттями; своєчасне очищення розчинів від механічних та корозійних домішок; контроль за швидкістю руху рідини в апаратах тощо.

Матеріал колони, тарілок, шоломової труби і прокладок вибирають відповідно до хімічних властивостей продукту, який обробляється. Так, колони для ректифікації оцтової кислоти і всю теплообмінну апаратуру виготовляють з міді. Гранично допустиму кількість в сировині домішок, які кородують, вказують в інструкції.

Для запобігання появи або утворення джерел запалювання на ректифікаційних установках ремонтні та вогневі роботи необхідно проводити тільки після відповідної підготовки технологічного обладнання, приміщень, території та дослідження повітря на відсутність небезпечної кількості газів та парів. Очищення колон здійснюють обережно з використанням іскробезпечного інструменту. Якщо в колоні є відкладення, що схильні до самозаймання в повітрі, очищення необхідно проводити при постійному змочуванні поверхні водою. Відкладення, що знімаються із стінок при очищенні, необхідно складати в металевий посуд і вилучати з приміщення або з установки.

Щоб запобігти інтенсивній корозії матеріалу і утворенню самозаймистих на повітрі сульфідів заліза необхідно брати пробу сировини, що надходить на перегонку, для контролю кількості домішок у ній. Гранично допустима кількість кородуючих домішок в сировині повинна бути вказана в інструкції.

Корпус ректифікаційної колони заземлюють для захисту від розрядів статичної електрики та вторинних проявів атмосферної електрики.

На випадок значних пошкоджень та аварій пожежа, що виникає, може прийняти великі і особливо великі масштаби, оскільки на сучасних ректифікаційних установках одночасно переробляються великі об'єми пари та горючої рідини, нагрітої до температури кипіння. Тому необхідно передбачати заходи профілактики щодо зменшення кількості горючих речовин, що обертаються на ректифікаційній установці, як на стадії їх проектування, так і на стадії експлуатації.

Зменшення кількості горючих речовин на установці можна забезпечити винесенням за її межі посудин з готовою продукцією (ректифікат, залишок), ліквідацією проміжних посудин, заміною мірників і напірних баків відповідними автоматичними регуляторами тиску і витрати. На випадок аварії чи пожежі передбачають можливість аварійного зливу рідин з ректифікаційних колон і інших апаратів установки в дренажні чи спеціальні аварійні резервуари.

При зупинці ректифікаційних колон на ремонт і очищення зупиняють обігрів і доводять тиск до атмосферного; від'єднують всі під'єднані до колони апарати, які заповнені рідинами і газами шляхом встановлення заглушок між фланцями; звільнюють колону від ГР і ЛЗР і промивають водою (після зливу промивною водою відключають від колони дренажну лінію); продувають колону водяною парою чи інертним газом до безпечного вмісту горючих речовин; відкривають люки колони, починаючи з верхнього.

При розгонці низькокиплячих розчинів і скраплених газів для уникнення утворення льодяних і кристалогідратних корків, а також підвищеного тиску контролюють кількість вологи в сировині; подають розчинник в місця, де

систематично спостерігається відкладення твердих сполук, суворо дотримуються встановлених технологічним регламентом термінів очищення.

Для підтримання встановленого режиму роботи колони обладнують автоматичними вказівниками чи регуляторами температури верху і низу, тиску парів, рівня рідини в нижній частині колони. Автоматичне регулювання температури верху колони здійснюється шляхом зміни кількості флегми, що подається в колону, а температуру низу колони і підігрівача початкової суміші – шляхом регулювання подачі теплоносія. При зупинці подачі холодоагента в дефлегматори і конденсатори вживають заходи до зупинки роботи ректифікаційної установки. Постійність подачі початкової суміші в колону забезпечують використанням автоматичних регуляторів тиску чи напірних баків (на установках періодичної дії).

Щоб не допускати потрапляння в колону води, повністю спускають воду з неї після промивання і гідравлічного випробування; перед пуском гострої пари в розігріту до робочої температури колону парову лінію продувають від конденсату. Парову лінію обладнують пристроями для спуску конденсату і зворотнім клапаном, щоб гаряча рідина з колони не могла потрапити в парову лінію при зменшенні у ній тиску.

Для запобігання ерозії у місцях введення початкової суміші в колону встановлюють розсікачі чи вводять початкову суміш через два діаметрально розташованих штуцери. Для запобігання вібрації колони встановлюють на самостійні фундаменти. Опорні конструкції колон і їх корпус, обов'язково захищають теплоізоляцією, які виконують так, щоб при витіканнях рідини через нещільності корпусу не створювалась можливість утворення прихованих потоків. Ізоляцію, яка просочена горючими рідинами чи пошкоджену, поновлюють. Трубопроводи на прямих ділянках обладнують температурними компенсаторами. Апарати (колони, дефлегматори) і трубопроводи, що працюють при температурах, значно менших за 0 °С, виготовляють із сталі підвищеної ударної в'язкості, також захищаючи їх ізоляцією. Зміна тиску при пуску і зупинці здійснюється плавно, поступово.

Для запобігання розливу ЛЗР і ГР майданчики етажерок з суцільним настилом обладнують бортиками висотою не менше 0,14 м, а прорізи в сусідні приміщення і виходи назовні – порогами з пандусами. При розташуванні апаратів ректифікаційних установок на відкритих майданчиках блоки колон, підігрівачів-теплообмінників і посудин також обладнують бортиками по периметру кожного блока. Траншеї і лотки, в яких прокладені продуктопроводи, або повністю засипають піском, або через кожні 80 м в них влаштовують піщані перемички. На трубопроводах промислової каналізації влаштовують гідрозатвори.

Вибір засобів і систем пожежогасіння для ректифікаційних установок залежить від властивостей розчинів, які переганяються, режиму роботи, потужності і розташування установок. При розташуванні апаратів ректифікації всередині виробничих приміщень крім внутрішніх пожежних кранів доцільно використовувати повітряно-пінні чи порошкові автоматичні установки локальної дії.

Стационарні лафетні стволи для гасіння та охолодження апаратів і конструкцій розташовують на даху насосних або інших розташованих поблизу будівель (операторні, вентиляційні камери, підсобні приміщення тощо) або на спеціальних вишках таким чином, щоб кожна точка колони зрошувалась не менше, ніж двома потоками води.

Локальні стаціонарні системи водяного чи повітряно-пінного охолодження і гасіння виконують з труб у вигляді кілець з діаметром дещо більшим за діаметр самої колони. Кільця розміщують на відстані не більше 10 м один від одного і сполучають із стояком, що їх живить. Для рівномірного розподілу води або піни по периметру колони кільця мають перфорацію (отвори) або відповідні насадки (розпилювач води, пінні головки). Пуск таких систем в дію може бути автоматичним (від теплових датчиків) або ручним.

Інтенсивність зрошення та витрата вогнегасної речовини визначається розрахунком. Виходячи з практики проектування, інтенсивність подачі води для верхнього та нижнього кілець зрошення беруть 0,5 л/с на 1 м периметра колони, а для проміжних кілець – 0,2 л/с на 1 м. Напір води на верхньому кільці зрошення повинний бути не менше 0,05МПа.

В деяких випадках високотемпературні колони ректифікаційних установок при розташуванні їх на відкритій місцевості обладнують напівстаціонарними установками парогасіння. Така установка парогасіння являє собою вертикальні стояки з штуцерами (з гвинтовою нарізкою) на кожному проміжному майданчику (іноді з відводами до люків). За необхідністю до штуцера парового стояка приєднують гумовий шланг зі стволом. За допомогою шланга водяну пару можна подати в будь-яку точку колони, де з'явиться факел полум'я або займеться просочена нафтопродуктом теплоізоляція. Поряд із вказаними стаціонарними або напівстаціонарними засобами пожежогасіння ректифікаційні установки забезпечують необхідною кількістю первинних засобів пожежогасіння.

Ректифікаційна колона перед пуском повинна бути оглянута, перевірена справність і готовність до роботи всіх пов'язаних з нею апаратів і трубопроводів, справність контрольно-вимірювальних приладів, регуляторів температури і тиску в колоні, вимірників рівня рідини в нижній частині колони, приймачах ректифікату, рефлюксних місткостях.

Пуск установки ректифікації в роботу потрібно здійснювати у встановленій послідовності, яка має бути вказана в технологічній інструкції.

Під час роботи ректифікаційних колон необхідно безперервно контролювати параметри процесу і справність апаратури.

Герметичність вакуумних колон і пов'язаних з ними апаратів необхідно перевіряти, контролюючи кількість кисню, що міститься в продуктах, які не конденсуються, після вакуум-насоса або ежектора вакууму. При падінні вакууму нижче гранично допустимого значення необхідно вжити заходів до зупинки процесу.

Для вловлювання рідини, яка може бути викинута разом з парами і газами через запобіжний клапан назвні, на лінії за запобіжним клапаном необхідно

розташовувати сепаратор. Рівень рідини в сепараторі не повинен перевищувати встановлену межу.

У зимовий час на відкритих установках не рідше одного разу на зміну необхідно перевіряти стан колон, продуктопроводів, водяних ліній, дренажних відростків на паропроводах і апаратах, спускових ліній тощо.

У цей період слід забезпечити безперервний рух рідини в комунікаціях (особливо з водою) для запобігання їх розриву. Спускові і дренажні лінії, а також найбільш небезпечні ділянки для подачі води, лугу і інших замерзаючих рідин повинні бути утеплені.

Необхідно стежити за тим, щоб пошкодження ділянок теплоізоляції ректифікаційних колон і їх опор своєчасно усувались. Теплоізоляція повинна бути чистою, справною і виконана так, щоб при витоках не могли утворитися приховані потоки рідини по корпусу.

При виявленні витоків в ректифікаційних колонах необхідно подати водяну пару або азот до місць пропуску для запобігання можливому займанню або утворенню сумішей вибухонебезпечних концентрацій.

При виникненні аварії або пожежі після зниження внутрішнього тиску в апараті необхідно подати всередину його водяну пару або азот.

У цехах і на відкритих установках ректифікації необхідно перевіряти наявність первинних засобів пожежогасіння і справність наявних стаціонарних або напівстаціонарних систем пожежогасіння.

Колони для розділення скраплених газів, а також колонні апарати значної висоти (40 м і більш) повинні бути забезпечені стаціонарними системами водяного або повітрянопінного охолодження і гасіння, стан і наявність яких слід систематично перевіряти.

Отже, пожежна безпека ректифікаційних колон забезпечується виключенням можливості утворення горючого середовища, виникнення джерела запалювання та шляхів поширення пожежі. Для цього необхідно контролювати перш за все технологічні параметри процесу, не допускати перевищення температури, тиску, слідкувати за справністю технологічного обладнання. Рівень протипожежного захисту установки повинен відповідати вимогам нормативних документів.

### **Запитання та завдання для самоконтролю**

1. Що таке ректифікація?
2. Будова та принцип роботи ректифікаційних колон.
3. У яких виробництвах використовують метод ректифікації?
4. Які конструкції тарілок ректифікаційних колон є найбільш поширеними?
5. Охарактеризуйте пожежну небезпеку ректифікаційних колон.
6. У які періоди експлуатації і при яких умовах у ректифікаційних колонах можуть утворитися горючі концентрації?
7. З якої причини у ректифікаційній колоні відбувається збільшення тиску парів?



8. До якої категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою відносять ректифікаційні установки?
9. Яка послідовність операцій при зупинці ректифікаційних колон на ремонт та заходи профілактики?
10. Скільки простих ректифікаційних колон необхідно для розділення суміші на чотири компоненти?
11. Які пристрої використовують для захисту ректифікаційних колон від підвищених тисків?
12. Призначення евапоратора-випарника.
13. Як класифікують ректифікаційні колони?
14. У якій частині ректифікаційної колони (верхній чи кубовій) температура є більшою?
15. Чи можливе виникнення вибухонебезпечного середовища всередині ректифікаційної колони при пошкодженні з'єднань?
16. Яке призначення вакуумних ректифікаційних колон?
17. Яка межа вогнестійкості опорної конструкції колони?
18. Яка частина ректифікаційних колон (верхня чи нижня) є більш небезпечна?
  - у колон, в яких  $t_{роб.} < t_{сз}$ ,
  - у колон, в яких  $t_{роб.} > t_{сз}$ .
19. Охарактеризуйте можливі джерела запалювання на ректифікаційних установках.
20. Чим небезпечне потрапляння у високотемпературну колону рідин з низькою температурою кипіння?
21. Як запобігти порушенню теплового балансу ректифікаційної колони?
22. Як здійснюється пожежогасіння та аварійне охолодження ректифікаційних установок?
23. Як запобігти механічному зношуванню ректифікаційної колони?
24. Як обмежують поширення пожежі на ректифікаційній установці?
25. Обчислити кінцевий тиск в ректифікаційній колоні, якщо протягом деякого часу буде призупинена подача води на конденсацію парів. Колона призначена для розділення суміші етиловий спирт – вода. Ступінь неповноти конденсації 5%. Вільний об'єм колони  $50 \text{ м}^3$ , температура низу колони 395 К, верху – 360 К. Робочий тиск в колоні при нормальному режимі роботи 0,16 МПа, продуктивність колони (за парами етилового спирту), 2,0 кг/с, тривалість порушення процесу конденсації парів 30 хв.

## ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

Нижче подано терміни, які використовуються у підручнику, та визначення позначених ними понять:

**Аварія** – небезпечна подія техногенного характеру, що спричинила ураження, травмування населення або створює на окремі території чи території суб'єкта господарювання загрозу життю або здоров'ю населення та призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи спричиняє наднормативні, аварійні викиди забруднюючих речовин та інший шкідливий вплив на навколишнє природне середовище.

**Аварійна вентиляція** – вентиляція, якою обладнують виробничі приміщення для вилучення раптових викидів великої кількості шкідливих або горючих газів, парів чи аерозолів.

**Аерозоль** – дисперсна система, яка складається з повітря і твердої або рідкої дисперсних фаз, частинки яких можуть невизначено довгий час знаходитись у завислому стані. Найбільш дрібні частинки за розмірами наближаються до великих молекул, а розміри найбільш великих частинок досягають 0,1...1 мкм.

**Балон** – посудина, яка має одну або дві горловини для встановлення вентилів, фланців або штуцерів, призначена для перевезення, зберігання і використання стиснених, зріджених або розчинених під тиском газів.

**Бочка** – посудина циліндричної або іншої форми, яку можна перекочувати з одного місця на інше і ставити на торці без додаткових опор, призначена для перевезення, зберігання рідких та інших речовин.

**Блок технологічний** – апарат (устаткування) або група (з мінімальною кількістю) технологічних апаратів (устаткування), які одночасно можуть бути відключені (ізолювані) від технологічної системи без небезпечних змін режиму, що призводять до розвитку аварії.

**Важкогорючі речовини і матеріали** – речовини і матеріали, здатні горіти у повітрі під час дії зовнішнього джерела запалювання, але не здатні самостійно горіти після його видалення.

**Вогнегасна речовина** – речовина або однорідна суміш, яка за своїми фізико-хімічними властивостями придатна до застосування в технічних засобах для припинення горіння.

**Вибух** – розширення газу протягом короткого проміжку часу внаслідок окисно-відновної реакції або розкладу речовини. Вибух може відбуватись з підвищенням температури або без нього.

**Вибух пароповітряної (газоповітряної, пилоповітряної) суміші** – процес згоряння горючої пароповітряної (газоповітряної, пилоповітряної) суміші у відкритому просторі з утворенням тиску у фронті ударної хвилі.

**Вибух пароповітряної (газоповітряної, пилоповітряної) горючої суміші в обмеженому просторі (резервуарі або у виробничому приміщенні)** – процес згоряння горючої пароповітряної (газоповітряної, пилоповітряної) суміші в обмеженому об'ємі з підвищенням тиску в цьому об'ємі.

**Вибухонебезпечна суміш** – суміш повітря або окиснювача з горючими газами, парами легкозаймистих рідин, горючим пилом або волокнами, яка за певної концентрації горючих речовин і наявності джерела запалювання здатна вибухати.

**Вибухонебезпечна установка** – окремий технологічний апарат або сукупність технологічного обладнання, у яких зберігаються або безпосередньо використовуються в технологічному процесі горючі гази, ЛЗР, ГР, горючі пил або волокна в кількості, за якої можливе утворення вибухонебезпечних зон.

**Виробниче приміщення** – приміщення, де розміщується основне і допоміжне обладнання, задіяне у виробничому процесі.

**Вогняна куля** – дифузійне горіння, яке реалізується при руйнуванні резервуара зі зрідженим або стисненим газом, перегрітою (нагрітою вище температури кипіння) рідиною з наступним утворенням газоповітряної (пароповітряної) хмари з концентрацією горючого газу (пари) в середині хмари більше значення верхньої концентраційної межі поширення полум'я, внаслідок чого реакція горіння всередині хмари не проходить, а дифузійне горіння відбувається по зовнішній оболонці хмари.

**Горюча речовина (горючий матеріал)** – речовина (матеріал), здатна (здатний) до участі у горінні у якості відновника.

**Декларація безпеки** – документ, який визначає комплекс заходів, що вживаються суб'єктом господарської діяльності з метою запобігання аваріям, а також забезпечення готовності до локалізації, ліквідації аварій та їх наслідків.

**Дифузійне горіння** – горіння за умов, коли горюча речовина і окисник розділені зоною горіння.

**Днище** – невід'ємна частина корпусу посудини, яка обмежує внутрішню порожнину з торця.

**Експлуатація** – довготривалий період використання під час виробничого процесу обладнання під тиском з урахуванням його експлуатаційних характеристик.

**Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій** – комплекс правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на регулювання техногенної та природної безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків.

**Засоби протипожежного захисту** – технічні засоби, призначені для запобігання, виявлення, локалізації та ліквідації пожеж, захисту людей, матеріальних цінностей та довкілля від впливу небезпечних факторів пожежі.

**З'єднання фланцеве** – нерухоме рознімне з'єднання оболонок, герметичність якого забезпечується шляхом стискання ущільнювальних поверхонь безпосередньо одна з одною або за допомогою розміщених між ними прокладок із більш м'якого матеріалу, стиснених деталями кріплення.

**Зовнішня установка** – установка, апарати і устаткування якої розміщені зовні будинку на одному технологічному майданчику і пов'язані між собою єдиним технологічним процесом виробництва, транспортування та переробки продукції (наприклад, для аварійного зливання турбінного масла з турбогенераторів машинного залу енергопідприємств, для підготовки нафти до переробки (електрознесолювальна установка) на підприємствах нафтопереробної та нафтохімічної промисловості тощо).

**Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки** – порядок визначення об'єктів підвищеної небезпеки серед потенційно небезпечних об'єктів.

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

**Категорія пожежної (вибухопожежної) небезпеки** – класифікаційна характеристика пожежної (вибухопожежної) небезпеки будинку (або частини будинку у межах протипожежного відсіку), приміщення, зовнішньої установки що визначається кількістю та пожежовибухонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що знаходяться (обертаються) в них, з урахуванням особливостей технологічних процесів виробництв.

**Контроль технічного стану** – перевірка відповідності значень параметрів об'єкта вимогам технічної документації і визначення на цій підставі одного із заданих видів технічного стану на цей час (види технічного стану: справний, працездатний, несправний, непрацездатний та інше залежно від значень параметрів на даний час).

**Корпус** – основна складова одиниця, яка складається із обичайки і днища.

**Легкозаймиста рідина (ЛЗР)** – горюча рідина з температурою спалаху не більше ніж 61 °С у закритому тиглі або 66 °С у відкритому тиглі. Особливо небезпечними є легкозаймісті рідини з температурою спалаху не більше ніж 28 °С.

**Масова теплота згоряння** – кількість теплоти, виділеної внаслідок повного згоряння речовини (матеріалу) в розрахунку на одиницю її (його) маси.

**Масова швидкість вигорання** – втрата маси речовини (матеріалу) під час горіння за одиницю часу в установлених умовах випробування.

**Небезпечна речовина** – хімічна, токсична, вибухова, окиснювальна, горюча речовина, біологічні агенти та речовини біологічного походження (біохімічні, мікробіологічні, біотехнологічні препарати, патогенні для людей і тварин мікроорганізми тощо), які становлять небезпеку для життя і здоров'я людей та довкілля, сукупність властивостей речовин і/або особливостей їх стану, внаслідок яких за певних обставин може створитися загроза життю і здоров'ю людей, довкіллю, матеріальним та культурним цінностям.

**Нерознімні з'єднання** – з'єднання, в яких зварювані елементи прилягають один до одного торцевими поверхнями й мають шов та зону термічного впливу.

**Нижня (верхня) концентраційна межа поширення полум'я** – мінімальний (максимальний) вміст горючої речовини в однорідній суміші з окиснювальним середовищем, за якого можливе поширення полум'я по суміші на будь-яку відстань від джерела запалювання.

**Нормальні умови експлуатації** – група експлуатаційних режимів, передбачена регламентом роботи: стаціонарний режим, пуск, вимірювання продуктивності, зупинка, гарячий резерв.

**Об'єкт будівництва виробничого і складського призначення** – будинки, будівлі, споруди виробничого і складського призначення, їх комплекси або їх частини, лінійні об'єкти інженерно-транспортної інфраструктури.

**Об'єкт підвищеної небезпеки** – об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру.

**Обичайка** – циліндрична оболонка замкнутого профілю, відкрита з торців.

**Опора** – пристрій для встановлення устаткування в робоче положення та передавання навантажень від устаткування на фундамент або несучу конструкцію.

**Пожежа** – неконтрольований процес знищення або пошкодження вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для живих істот і навколишнього природного середовища.

**Пожежна безпека** – відсутність неприпустимого ризику виникнення і розвитку пожеж та пов'язаної з ними можливості завдання шкоди живим істотам, матеріальним цінностям і довкіллю.

**Пожежна небезпека об'єкта (приміщення, будинку тощо)** – сукупність чинників, які зумовлюють можливість виникнення та/або розвитку пожежі на об'єкті.

**Пожежна охорона** – вид діяльності, який полягає у запобіганні виникненню пожеж і захисті життя та здоров'я населення, матеріальних цінностей, навколишнього природного середовища від впливу небезпечних чинників пожежі.

**Пожежне навантаження** – кількість теплоти, що може виділитися у приміщенні в разі повного згорання речовин і матеріалів, які обертаються у виробництві, у тому числі технологічне обладнання, кабелі (ізоляція), а також у разі повного згорання речовин і матеріалів, що знаходяться у складських приміщеннях, меблі тощо, що здатні горіти.

**Порогова маса небезпечних речовин** – нормативно встановлена маса окремої небезпечної речовини або категорії небезпечних речовин чи сумарна маса небезпечних речовин різних категорій.

**Посудина** – герметично закрита ємність, призначена для проведення хімічних, теплових та інших технологічних процесів, а також для зберігання і перевезення газоподібних, рідких та інших речовин. Границею посудини є вхідні та вихідні штуцери.

**Потенційно небезпечний об'єкт** – об'єкт, на якому можуть використовуватися або виготовляються, переробляються, зберігаються чи транспортуються небезпечні речовини, біологічні препарати, а також інші об'єкти, що за певних обставин можуть створити реальну загрозу виникнення аварії.

**Питоме пожежне навантаження** – пожежне навантаження, що припадає на одиницю площі розміщення речовин і матеріалів, які обертаються у виробництві, у тому числі технологічного обладнання, кабелів (ізоляції), а також речовин і матеріалів, що знаходяться у складських приміщеннях, меблів тощо, здатних горіти.

**Прийнятний ризик** – ризик, який не перевищує на території об'єкта підвищеної безпеки і/або за її межами гранично допустимого рівня.

**Приміщення** – простір, обмежений з усіх сторін захисними конструкціями: стінами (у тому числі з вікнами і дверима), стелею (перекриттям) і підлогою.

**Противопожежна відстань** – нормована відстань між будинками, спорудами, яку встановлюють для запобігання розвитку пожежі.

**Противопожежний відсік** – частина будинку, відокремлена від інших його частин протипожежними стінами 1-го типу та/або протипожежними переkritтями 1-го типу. Призначенням протипожежного відсіку є запобігання поширенню пожежі та її небезпечних чинників за його межі (у разі виникнення пожежі всередині відсіку) або у протипожежний відсік (в разі виникнення пожежі ззовні відсіку) протягом нормованого часу.

**Противопожежний секція** – частина протипожежного відсіку, відокремлена від інших його частин протипожежними перешкодами, крім протипожежних стін 1-го типу та/або протипожежних переkritтів 1-го типу.

**Противопожежний тамбур-шлюз** – об'ємний елемент частини приміщення, відокремлений від інших частин приміщення протипожежними перешкодами та розташований безпосередньо в місцях входу (виходу) з приміщення, сходової клітки, ліфтової шахти. Призначенням протипожежного тамбур-шлюзу є запобігання поширенню пожежі та її небезпечних чинників за межі приміщення або в середину приміщення, сходової клітки, ліфтової шахти.

**Противопожежна перешкода** – будівельна конструкція у вигляді протипожежної стіни, перегородки, переkritтя, призначена для запобігання поширенню пожежі у прилеглі до неї приміщення або частини будинків протягом нормованого часу.

**Ризик** – ступінь імовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин на території об'єкта підвищеної безпеки і/або за його межами.

**Розрахункова аварія** – найнесприятливіший варіант аварії або період нормальної роботи апаратів і (або) технологічного устаткування, за якого у вибуху і (або) горінні бере участь найбільша кількість речовин і (або) матеріалів, найнебезпечніших щодо наслідків такого вибуху і (або) горіння, вибраний для розрахунку значень критеріїв вибухопожежної безпеки приміщення або зовнішньої установки.

**Розрахунковий ресурс обладнання (елемента)** – тривалість експлуатації обладнання під тиском (елемента), протягом якої виробник гарантує надійність його роботи за умови дотримання режиму експлуатації, зазначеного в інструкції виробника, і розрахункового числа пусків з холодного і гарячого станів.

**Розрахунковий тиск** – максимальний надлишковий тиск в деталі, на який проводиться розрахунок на міцність при обґрунтуванні основних розмірів, що забезпечують надійну роботу протягом розрахункового ресурсу.

**Складське приміщення** – спеціально обладнане приміщення для зберігання речовин, матеріалів, виробів, обладнання тощо та надання складських послуг.

**Температура спалаху** – найменша температура речовини, за якої в установлених умовах випробування над її поверхнею утворюється пара, здатна спричинити спалах у повітрі під впливом джерела запалювання, але швидкість утворення пари недостатня для підтримання стійкого горіння.

**Теплота згоряння масова** – кількість теплоти, виділеної внаслідок повного згоряння матеріалу (речовини) у розрахунку на одиницю його маси.

**Технічне обслуговування** – комплекс технічних і організаційних заходів, які здійснюються в процесі експлуатації обладнання під тиском з метою забезпечення необхідної ефективності виконання ним заданих функцій.

**Технічний стан обладнання під тиском** – стан обладнання під тиском в певний момент часу і в певних умовах зовнішнього середовища, який характеризується значенням параметрів, установлених технічними та експлуатаційними документами.

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

**Установка** – сукупність технологічного обладнання (апаратів), що виконує певну функцію у технологічному процесі.

**Цистерна** – пересувна посудина, постійно встановлена на рамі залізничного вагона, шасі автомобіля (причепа) або інших засобах пересування, призначена для перевезення і зберігання газоподібних, рідких та інших речовин.

**Час перекивання** – проміжок часу від початку потрапляння горючих рідин, газу або пилу з технологічного обладнання внаслідок перфорації, розриву, зміни номінального тиску до повного припинення потрапляння вказаних речовин у приміщення або навколишнього простору.

**Штуцер** – елемент, призначений для приєднання до устаткування трубопроводів, трубопровідної арматури, контрольно-вимірювальних приладів та іншого.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Конституція України.
2. Кодекс цивільного захисту України.
3. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки».
4. ДСТУ Б В. 1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
5. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.
6. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
7. ДСТУ 3855-99 Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення.
8. ВБН В.2.2-58.1-94. Проектування складів нафти та нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа.
9. ВБН В.2.2-58.2-94. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти та нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа.
10. ДСТУ Б В.2.6-183:2011. Резервуари вертикальні циліндричні сталеві для нафти та нафтопродуктів.
11. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.
12. НАПБ Б.01.009-2004. Правила пожежної безпеки для підприємств вугільної промисловості України.
13. НАПБ Б.01.011-2007. Правила пожежної безпеки для підприємств з переробки ефірно-олійної сировини.
14. НАПБ В.01.021-97/510. Правила пожежної безпеки при експлуатації магістральних нафтопроводів України.
15. НАПБ В.01.034-2005. Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України.
16. НАПБ В.01.054-2015/510. Правила пожежної безпеки для підприємств і організацій автомобільного транспорту України.
17. НАПБ В.01.058-2008/112. Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів.
18. НАПБ В.05.026-2006/111. Протипожежний захист складів, систем паливоподачі та пилоприготування твердого палива.
19. НАПБ В.06.011-2012/510. Відомчі норми технологічного проектування «Визначення категорій приміщень та будівель підприємств залізничного транспорту за вибухопожежною та пожежною небезпекою та переліку об'єктів, що підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації».
20. НАПБ В.07.003-88/112. Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности\*.
21. НАПБ 01.039-2001. Правила пожежної безпеки для коксохімічних виробництв.



22. НАПБ 05.033-2002. Протипожежний захист складів легкозаймистих та горючих рідин на підприємствах паливно-енергетичного комплексу. Інструкція з проектування, будівництва та експлуатації.
23. НПАОП 0.00-1.41-88. Загальні правила вибухобезпечних для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв.
24. СНиП 2.05.06-85\*. Магистральные трубопроводы.
25. СНиП 2.09.02-85\*. Производственные здания.
26. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні.
27. ДБН Б.2.2-12:2018. Планування і забудова територій.
28. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. Наказ Міністерства соціальної політики України від 05.03.2018р. № 333.
29. 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.
30. Михайлюк О.П., Олійник В.М., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. – Харків, 2004. – 407 с.
31. Павлюк Ю.Е., Ференц Н.О. «Пожежна профілактика технологічних процесів» в прикладах та задачах. Навчальний посібник. – Львів, ЛДУ БЖД. – 2015. – 205 с.
32. Ференц Н.О., Павлюк Ю.Е. Аналіз пожежної небезпеки технологічних процесів виробництв. – Львів, ЛДУ БЖД. – 2008. – 170 с.
33. Павлюк Ю.Е., Ференц Н.О. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – Львів: ЛДУ БЖД, –2008. – 96 с.
34. Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф. Пожарная профилактика технологических процессов производств. – М. ВИПТШ МВД СССР – 1986. – 370 с.
35. Клубань В.С., Петров А.П., Рябиков В.С. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса М.: Стройиздат. – 1987. – 477 с.
36. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленной пыли. – М.: «Химия», –1986. –211с.
37. Єлагін Г.І., Шкарабура М.Г. та ін. Основи теорії розвитку і припинення горіння. – Черкаси: ЧПБ, 2001. – 448 с.
38. Задачник «Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів» /Заїка П.І., Хаткова Л.В. – Черкаси: ЧПБ, 2002. – 80 с.
39. Горячев С.А., Клубань В.С. Задачник по курсу «Пожарная профилактика технологических процессов». – М.: ВИПТШ МВД России, 1996. – 121 с.
40. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность процессов сушки. – М.: Стройиздат, – 1987. – 159 с.
41. Иванов Е.П. Пожарная защита открытых технологических установок. – М.: «Химия», 1975. – 194 с.

42. Клепоносов Н.Н, Сорокин А.И. Пожарная защита объектов нефтяной и газовой промышленности. – М.:”Недра”,1983. – 190 с.
43. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. – М.“Недра” 1984. – 149 с.
44. Сучков В.П. Пожарная безопасность при хранении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на промышленных предприятиях. – М. – Стройиздат.1985. – 95 с.
45. Роев Є.Д. Пожарная защита объектов хранения и переработки сжиженных газов. – М. “Недра”, 1980. – 182 с.
46. Котов Г.М., Волоков О.М., Пустомельник В.П. Противопожарные мероприятия на нефтеперерабатывающих заводах. – М.: Стройиздат, 1981. – 60 с.
47. Логинов Ф.Л. Пожарно-профилактические мероприятия при окраске и сушке изделий. – М.: 1973. – 114 с.
48. Аханченко А.Г. Основы пожарной безопасности металлургических предприятий. – М.:“Металлургия”, 1982. – 142 с.

**Навчальне видання**

**ФЕРЕНЦ Надія Олександрівна  
ПАВЛЮК Юрій Емільович**

# **ПОЖЕЖНА ПРОФІЛАКТИКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

**Підручник**

Літературний редактор – Галина Падик  
Комп'ютерна верстка – Олександр Хлевной  
Друк на різнографі – Маріанна Климус

Підписано до друку 16.11.2019 р.  
Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman.  
Друк на різнографі. Папір офсетний. Наклад: 100.  
Ум. друк. арк. 21,2.

Друк ЛДУ БЖД  
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35  
тел./факс: (032) 233-32-40, 233-24-79  
ubgd@i.ua