

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Д. С. МІЛОХОВ
О. В. ХИЛЯ
В. В. ПЩЕНКО**

**ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ
ПІД ЧАС РОБОТИ
В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ**

Навчальний посібник



УДК 542:614.8:378.016(075.8)
М60

Рецензенти

д-р хім. наук, ст. дослідник А. В. Кулініч
(Інститут органічної хімії НАН України),
канд. хім. наук, ст. наук. співроб. О. В. Головченко
(Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України ім. В. П. Кухаря),
д-р хім. наук, проф. В. М. Амірханов
(Київський національний університет імені Тараса Шевченка)

*Рекомендовано до друку вченою радою хімічного факультету
(протокол № 2 від 20 вересня 2022 року)*

*Ухвалено науково-методичною радою
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
протокол № 4-23 від 4 травня 2023 року*

Мілохов Д. С.

М60 Техніка безпеки під час роботи в хімічній лабораторії : навч.
посіб. / Д. С. Мілохов, О. В. Хиля, В. В. Іщенко. – К. : ВПЦ "Київський
університет", 2023. – 335 с.

ISBN 978-966-

Розглянуто найважливіші аспекти техніки безпеки під час роботи в хімічних лабораторіях. Наведено загальні правила роботи в хімічній лабораторії, безпечної експлуатації лабораторного обладнання і проведення різноманітних експериментальних процесів, класифікація й особливості роботи з небезпечними речовинами – легкозаймистими, вибухонебезпечними та токсичними речовинами. Проаналізовано поширені причини виникнення аварійних ситуацій і заходи їхньої ліквідації. Наведено прийоми надання першої домедичної допомоги при нещасних випадках у лабораторії. Значну увагу приділено основам пожежної й електробезпеки.

Матеріал посібника є обов'язковою частиною лабораторної складової дисциплін освітньо-професійної програми підготовки фахівців за спеціальністю "Хімія".

Для студентів природничих факультетів закладів вищої освіти.

УДК 542:614.8:378.016(075.8)

ISBN

© Мілохов Д. С., Хиля О. В., Іщенко В. В., 2023
© Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ВПЦ "Київський національний університет", 2023

Вступ

Багаторічний досвід проведення хімічних експериментів свідчить про те, що недотримання певних заходів безпеки може зробити роботу в лабораторії небезпечною для здоров'я та життя як самого експериментатора, так і оточуючих людей.

Перед початком роботи у практикумі всі студенти мають обов'язково ознайомитись із правилами техніки безпеки та здати відповідний залік.

Найбільш розповсюдженими причинами нещасних випадків є: невміла робота з хімічними речовинами (отруєння, опіки, пожежі, вибухи), з лабораторним приладами (враження електричним струмом, термічні опіки й інші травми), зі скляними приладами та посудом (порізи, вибухи, загоряння й ін.).

Варто зазначити, що жодна найдетальніша інструкція не в змозі охопити всі конкретні ситуації та випадки, що виникають на практиці. Отже, важливо не лише знати правила техніки безпеки, але й розуміти їхній сенс, вміти застосовувати їх у реальних нестандартних ситуаціях та оцінювати можливі наслідки будь-якої дії. Вміння працювати без травм та аварій – один з основних критеріїв під час оцінювання професійної кваліфікації будь-якого спеціаліста.

Розділ 1. Загальні правила роботи в хімічній лабораторії

1.1. Загальні правила роботи та поведінки в хімічній лабораторії

- ✓ Не можна працювати в лабораторії у випадку поганого самопочуття та сильної втоми, із незахищеними пошкодженнями шкіри.
- ✓ Перед початком виконання роботи, експериментатор має ознайомитись з основними фізико-хімічними та токсичними властивостями сполук, що використовуватимуться в роботі.
- ✓ Кожен працюючий у лабораторії повинен мати бавовняний халат, гумові рукавички, окуляри.
- ✓ Кожен має знати де розміщені в лабораторії аптечка, пожежні ковдри, ящики з піском, вогнегасники.
- ✓ *Заборонено*: тримати на лабораторних столах рюкзаки, сумки, верхній одяг, забруднювати раковини папером, піском та іншими твердими предметами, зливати в раковини залишки розчинників, реакційних сумішей, агресивних і подразнювальних сполук. Такі залишки розчинників і реакційних сумішей збирають у спеціальну скляну тару зі "зливами" різних сполук.
- ✓ Усі роботи, що супроводжуються використанням і виділенням токсичних сполук обов'язково мають проводитись у витяжній шафі.
- ✓ У лабораторії категорично заборонено: пити, вживати їжу, курити.
- ✓ Під час роботи не варто торкатись руками обличчя, оскільки багато сполук мають сильну подразнювальну дію (кислоти, луги, нітросполуки, альдегіди, ненасичені сполуки й інші), а потрапляння на слизову оболонку очей викликає сильне печіння та запалення.
- ✓ Усі необхідні для синтезу реактиви одержати в інженера (самостійно брати заборонено).
- ✓ У процесі набирання рідких сполук піпеткою – *заборонено* всмоктувати їх ротом – варто використовувати грушу або спеціальний дозатор.
- ✓ Категорично *заборонено* пробувати реактиви на смак.

- ✓ Перевірку запаху речовини проводять обережно направляючи на себе її пари легким рухом руки, не нахилиючись над ємністю з речовиною та не вдихаючи їх на повні груди.
- ✓ Категорично *заборонено* працювати в лабораторії одному, оскільки у разі нещасного випадку або непередбачуваної ситуації не буде кому надати допомогу.
- ✓ На кожному лабораторному занятті обов'язково мають бути призначені чергові по лабораторії.
- ✓ Перед закінченням роботи черговий має перевірити, щоб на робочих столах і під витяжними шафами були вимкнені вода, газ, електроприлади, а на виході з лабораторії – перекрити вентилі водопостачання й газу, а також, за можливістю, знеструмити лабораторію.

1.2. Запобігання та профілактика отруєнь

Класифікація хімічних речовин за ступенем впливу на організм

Працюючи в хімічній лабораторії варто дотримуватись такої доктрини: *"всі хімічні сполуки певною мірою отруйні"*. Абсолютно безпечною є лише чиста вода. За ступенем впливу на організм *шкідливі речовини* поділяють на чотири класи¹ небезпеки:

I клас – надзвичайно небезпечні;

II клас – високонебезпечні;

III клас – помірно небезпечні;

IV клас – малонебезпечні;

Критерієм визначення класу небезпеки речовини є показники, наведені в табл. 1.1.

Віднесення шкідливої речовини до певного класу небезпеки визначають за показником, значення якого відповідає найбільш високому класу небезпеки.

¹ Клас небезпеки шкідливих речовин – умовна величина, призначена для спрощеної класифікації потенційно небезпечних речовин.

Таблиця 1.1

*Класифікація шкідливих речовин залежно
від токсикометричних характеристик*

Показник		Норма для класу небезпеки			
		I	II	III	IV
ГДК ²	шкідливих речовин у повітрі робочої зони, мг/м ³	< 0,1	0,1–1,0	1,1–10,0	> 10,0
Середня смертельна доза (LD ₅₀)	при введенні у шлунок, мг/кг	< 15	15–150	151–5000	> 5000
Середня смертельна доза (LD ₅₀)	при нанесенні на шкіру, мг/кг	< 100	100–500	501–2500	> 2500
Середня смертельна концентрація в повітрі (LC ₅₀), мг/м ³		< 500	500–5000	5001–50000	> 50000
Коефіцієнт можливості інгаляційного отруєння (КМІО)		> 300	300–30	29–3	< 3
Зона гострої дії		< 6,0	6,0–18,0	18,1–54,0	> 54,0
Зона хронічної дії		> 10,0	10,0–5,0	4,9–2,5	< 2,5

Наведемо приклади розподілу деяких сполук за класами небезпеки.

До класу I, у який входять надзвичайно небезпечні речовини, належать берилій, талій, полоній, протактиній, свинець і його неорганічні сполуки, карбонат барію, біхромати натрію та

² ГДК – гранично допустима концентрація – показник безпечного рівня вмісту шкідливих речовин у довкіллі. Відповідає максимальній кількості шкідливої речовини в одиниці об'єму або маси, яка за щоденного впливу протягом необмеженого часу не викликає будь-яких змін в організмі людини і несприятливих спадкових змін у потомства, а також не призводить до порушення нормального відтворення основних ланок екологічної системи природного об'єкта.

амонію, ртуть, діетилртуть, тетраетилсвинець, ангідрид хромовий, акролеїн, бензопірен, пестицид (інсектицид) ліндан (γ -ізомер ГХЦГ, тобто (1R,2R,3S,4R,5R,6S)-1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексан або γ -гексахлорциклогексан), гідразин і його похідні, бензил хлористий, тіогліколева кислота, диметилсульфат, 2,4-динітрохлорбензол, *n*-нітроанілін, *o*- та *n*-фенілендіаміни, фосфора хлороксид, метилізоціанат, *m*-хлоранілін.

До класу II належать високонебезпечні речовини: пил оксиду ванадію (III і V), оксиди марганцю, деякі сполуки кадмію, кобальту, літію, молібдену, нітрити, ціаніди, сполуки бору, гексахлорбензол, анілін, ацетальдегід, бромформ, інсектицид *n*-дихлордифенілтрихлоретан (ДДТ, "дуст"), фенол, бензол, фенолформальдегідні смоли, чотирихлористий вуглець, похідні акрилової кислоти, морфолін, діізопропіламін, піридин, піролідин, толуїдини (ізомерні), хінолін, оксид етилену.

Клас III представлений помірно небезпечними речовинами: алюміній і його сплави, діоксид азоту, хлорид амонію, триоксид сірки (сульфатний ангідрид), амінокислоти, одержані мікробним синтезом, β -аланін, етилцелозольв (етиловий етер етиленгліколю), масляний альдегід, ацетонітрил, камфора, кислота валеріанова, пропіловий і бутиловий спирти, стирол, толуол, хлорбензол, циклогексанон, метиловий спирт.

До класу IV включені малонебезпечні речовини: сірководень, гербіцид симазин (6-хлор-*N,N'*-діетил-1,3,5-триазин-2,4-діамін), діетиловий етер, ацетон, бутилацетат, диметилсульфоксид, пропіонова кислота, метилену хлорид, нітрометан, пентан, етиловий спирт, тетрагідрофуран, тетралін, уайт-спірит, етилацетат, етилен.

Варто пам'ятати, що обов'язковою умовою безпечної роботи з хімічними сполуками є не лише знання класу небезпеки реактивів і розчинників, із якими працюєте, а також знання особливостей їхньої токсичної дії, основних заходів профілактики отруєнь, симптомів отруєнь і способів надання першої допомоги у разі отруєнь. *Перед початком роботи з будь-якими речовинами варто обов'язково ознайомитись із їхніми*

фізичними та хімічними властивостями, а також знайти в літературі дані стосовно токсичності відповідних сполук і гігієнічні нормативи роботи з ними.

Гострі та хронічні отруєння

Результатом негативного впливу шкідливих речовин на організм людини можуть бути *гострі* або *хронічні* отруєння. *Гострі отруєння* виникають під час потрапляння до організму відносно великих кількостей шкідливих сполук за короткий проміжок часу і мають чітко виражені типові порушення нормальної життєдіяльності безпосередньо після отруєння або через відносно невеликий проміжок часу (декілька хвилин/годин, рідше – декілька діб).

Зауважимо, що гострі отруєння не виникають під час нормальної роботи. Вони є наслідком різноманітних аварійних ситуацій: несправностей приладів, розливу та викидів шкідливих реактивів або грубих порушень техніки безпеки.

Хронічні отруєння обумовлені тривалою дією на організм відносно невеликих кількостей шкідливих речовин. Такі отруєння можуть виникати і за відсутності аварійних випадків, як наслідок порушення правил і норм зберігання реактивів, неефективній роботі вентиляційної системи, недотримання правил особистої гігієни під час роботи в лабораторії й ін.

Заходи безпеки за різних шляхів потрапляння шкідливих речовин до організму

Під час роботи з хімічними сполуками основні заходи безпеки мають спрямовуватися на запобігання їхньому потраплянню до організму через легені, шкіру й ротову порожнину.

Загальні заходи безпеки.

Заміна надзвичайно небезпечних і високонебезпечних речовин помірно небезпечними й малонебезпечними зменшує можливість як хронічних, так і гострих отруєнь. Наприклад, під час проведення різноманітних хімічних перетворень, перекристалізацій та інше замість бензолу (клас II – високонебезпечні сполуки) у більшості випадків можна використати толуол (клас III – помірно небезпечні сполуки). Обидва розчинники за структурою належать до одного класу

органічних сполук, однак толуол за 20 °С майже втричі менш леткий порівняно з бензолом. Отже, у процесі роботи з толуолом за інших рівних умов у повітря робочої зони потрапляє втричі менше шкідливих парів, ніж під час використання бензолу. Крім того, толуол менш токсичний, оскільки в організмі порівняно швидко окиснюється до бензойної кислоти (ГДК для бензолу 5 мг/м³, для толуолу – 50 мг/м³), а також легше виявляється за запахом (межа сприйняття запаху для бензолу 5 мг/м³, а для толуолу – 1,8 мг/м³). Розчинна здатність обох розчинників досить близька; за певних корегувань толуол може повністю замінити бензол у більшості сумішей для тонкошарової хроматографії. Також у деяких випадках використання толуолу має певні переваги, оскільки він має нижчу температуру замерзання, ніж бензол (толуол – $t_{пл}$ –95 °С, бензол – $t_{пл}$ 5,5 °С).

Інгаляція газів, парів, туманів та аерозолів.

Потрапляння шкідливих речовин в організм людини через органи дихання є найрозповсюдженішою небезпекою в лабораторній практиці. Ураження різних органів і систем організму внаслідок інгаляційних отруєнь обумовлено великою поверхнею тканини легень. Під час потрапляння парів шкідливих речовин у легені відбувається їхнє швидке всмоктування розвиненою капілярною сіткою легень, що сприяє швидкому проникненню цих речовин у кров.

Основним шляхом боротьби з інгаляційними отруєннями є запобігання можливості потрапляння шкідливих речовин у вигляді газів, парів, туманів та аерозолів у повітря лабораторії.

Будь-які роботи з газоподібними, а також леткими речовинами, рідкими та твердими сполуками, що здатні до пироутворення, слід проводити у витяжній шафі із увімкненою вентиляцією! Сушильні шафи, у яких відбувається осушування речовин від органічних розчинників теж варто розміщувати у витяжній шафі.

Раціональне використання витяжної шафи:

- ✓ Витяжну шафу потрібно вмикати за 30 хв до початку роботи.
- ✓ Під час роботи створки витяжної шафи слід відкривати тільки на мінімально зручну для роботи висоту, але не більше ніж на 1/3.

- ✓ *Вікна витяжної шафи, якими в поточний момент не користуються, мають бути закритими.*
- ✓ *На ніч вікна витяжної шафи слід залишати закритими.* Оскільки пил, іржа, сконденсовані маслянисті рідини осаджуються на стінках вентиляційних каналів у вигляді шару з великою поверхнею адсорбції. Цей шар активно адсорбує на своїй поверхні шкідливі речовини. Коли вентиляція вимкнена і створки шафи відкриті, може створюватись зворотний потік повітря з вентиляційного каналу у приміщення лабораторії. Унаслідок *десорбції* шкідливих речовин повітря лабораторії до ранку накопичує їх у концентраціях, що в декілька разів *перевищують ГДК*.

У лабораторії не варто створювати запаси реактивів, особливо летких, оскільки через негерметичності в упаковці вони можуть поступово випаровуватись і впродовж тривалого часу отруювати атмосферу робочого приміщення, викликаючи хронічні отруєння. Потрібні для поточної роботи реактиви зберігають якісно запакованими, а найбільш леткі – на спеціальних полицях у витяжній шафі.

Зважують леткі тверді та леткі сполуки в щільно закритому посуді. У разі частого зважування летких речовин ваги встановлюють у витяжній шафі. Якщо сполуки належать до класу *I (надзвичайно небезпечні речовини)*, то зважування проводять у спеціальному рукавичному боксі.

Ще одним джерелом забруднення атмосфери може бути лабораторна раковина-мийка, якщо вона не обладнана витяжною вентиляцією. У такому випадку попередню "чорнову" очистку посуду, забрудненого леткими шкідливими речовинами, слід здійснювати у витяжній шафі. За необхідності спочатку проводять дегазацію посуду розчином кислоти, лугу або спеціальним дегазуючим розчином.

У *аварійних ситуаціях*, коли атмосфера лабораторії раптово виявляється забрудненою отруйними парами або газами, *залишатись у приміщенні для ліквідації наслідків аварії* (відключення апаратури, прибирання розлитої рідини й інше) можна лише у протигазі.

Неприпустимо використання протигазів за наявності в повітрі речовин, що практично не сорбуються – ацетилену, метану, етану, бутану, етилену й ін., а також, якщо *невідомо склад парів чи газів*, що забруднюють атмосферу. У таких випадках перебувати у приміщенні *заборонено*.

Аварійною ситуацією варто вважати розлив поза межами витяжної шафи навіть невеликих кількостей токсичних рідин, особливо таких, що мають низькі значення ГДК. Наприклад, у випадку проливу та подальшого випаровування 50 г бензолу в лабораторії, що має об'єм 100 м³, у зоні дихання утворюється концентрація парів, що перевищує значення ГДК (5 мг / м³) більше, ніж у 100 разів! Крім того, під час розрахунку варто враховувати, що суміш парів бензолу (й інших рідин із температурою кипіння < 80 °С) з повітрям значно важча за повітря й накопичується в нижніх повітряних шарах приміщення. Це, звичайно, ускладнює видалення парів під час провітрювання. Зниження концентрації парів до рівня ГДК лише за рахунок роботи витяжної вентиляції відбудеться лише за декілька годин! Продовжувати роботу (без протигазу) можна тільки після зниження концентрації отруйних парів нижче ГДК.

Проникнення отруйних речовин через шкіру.

Більшість органічних рідин, зокрема анілін, бензол, діоксан, дихлоретан, піперидин, метанол, розчини твердих і рідких сполук у таких розчинниках, як диметилформамід, а особливо диметилсульфоксид, дуже легко всмоктуються при потрапленні на шкіру. За такого контакту до організму "разово" може потрапити кілька сотень міліграмів отрути, а під час тривалого контакту або великої поверхні враження шкіри – граміві кількості. Варто зазначити, що така ж кількість отруйних речовин може потрапити в організм через легені (інгаляційно) лише під час тривалого (декілька десятків годин) перебуванні в атмосфері, що містить високі концентрації парів цієї сполуки.

Шкідливі речовини, що потрапили до організму через шкіру, далі переходять у кровоток, викликаючи гострі отруєння або накопичуються (депонуються) у жировій тканині, спричиняючи хронічні отруєння, алергічні прояви й ін.

Тверді сполуки можуть також потрапляти до організму навіть через неуражену шкіру, особливо якщо вони в дрібнодисперсному, пилоподібному стані. Потрапляючи під одяг, частки пилу поступово адсорбуються порами шкіри, через вологу шкіру швидкість проникнення речовин зростає. Також токсичні пари й гази можуть долати "шкіряний" бар'єр, потрапляючи безпосередньо з повітря, оскільки шкіра частково задіяна у процесі дихання.

Варто враховувати високу сорбційну здатність текстильних матеріалів, особливо вовни й бавовни, відносно багатьох рідких і газоподібних сполук. Працюючи без спецодягу, ви сприяєте накопиченню отруйних сполук на особистому одязі, які, поступово десорбуючись, всмоктуються всією поверхнею шкіри навіть уже за межами лабораторії. Зважаючи на це, у приміщенні лабораторії варто обов'язково перебувати в бавовняному халаті. Для запобігання потрапляння хімічних речовин на шкіру обов'язково працювати в гумових або інших (залежно від ступеня проникності речовин, із якими працюєте) захисних рукавичках. Треба мати на увазі, що деякі рідини, особливо органічні, можуть проникати крізь тонкі гумові рукавички.

Проведення будь-яких робіт, пов'язаних навіть із найменшою ймовірністю ушкодження або забруднення очей вимагає їхнього захисту! Ураховуючи, що така ймовірність у хімічній лабораторії є завжди, то під час роботи в лабораторії варто *постійно* носити захисні окуляри!

Проникнення отруйних речовин через травний тракт.

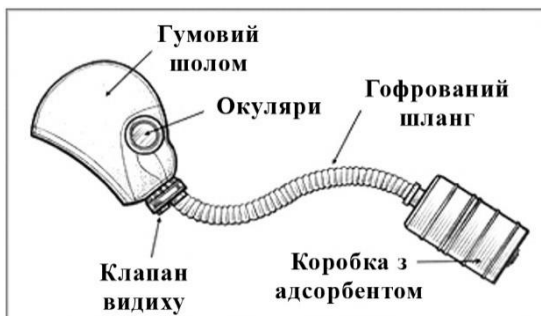
Потрапляння невеликих кількостей шкідливих речовин у травну систему спричинено, зазвичай, порушенням правил особистої гігієни (куріння, вживання їжі в лабораторних приміщеннях). Їсти можна лише у спеціально відведених для цього приміщеннях, у яких немає бути жодних робіт із хімічними речовинами. *Не можна вживати їжу в робочих халатах!*

Заборонено зберігати харчові продукти в холодильниках, у яких зберігають навіть невеликі кількості хімічних речовин!

Заборонено всмоктувати рідини в піпетки ротом! Для цього слід використовувати груші, шприци та дозатори.

1.3. Правила використання фільтрувальних промислових протигазів

- ✓ Застосування фільтрувальних протигазів можливо лише в атмосфері, що містить не менш 16 об'ємних відсотків вільного кисню (18 % для протигазів марки СО і М) і не більше 0,5 % шкідливих сполук.
- ✓ Протигаз складається зі спорядженої коробки, лицьової частини, гофрованої трубки та сумки.



- ✓ Для підбору шолому-маски за розміром сантиметровою стрічкою роблять два виміри голови: довжину кругової лінії, що проходить через підборіддя, щоки та верхню частину голови (маківку) і довжину півкола, що проходить від отвору одного вуха до отвору другого вуха по лобу через надбрівні дуги. Результати двох вимірів складають і за таблицею визначають потрібний розмір шолому-маски:

Сума вимірів, см	Розмір шолому-маски
До 93	0
Від 93 до 95	1
Від 95 до 99	2
Від 99 до 103	3
Від 103 і вище	4

Маркування і призначення фільтрувальних коробок
промислових протигазів*

Марка	Колір коробки	Шкідливі речовини, від яких захищає фільтрувальна коробка
А	коричневий	Пари органічних сполук (бензин, гас, бензол і його гомологи, ацетон, сірковуглець, спирти, ефіри, анілін, нітро- і гагогенопохідні вуглеводнів, тетраетилсвинець), хлороорганічні і фосфороорганічні отрутохімікати.
В	жовтий	Кислі гази та пари (діоксид сірки, хлор, сірководень, синильна кислота, оксиди азоту, хлороводень, фосген), хлороорганічні і фосфороорганічні отрутохімікати.
Г	чорний і жовтий	Пари ртуті, ртутьорганічні отрутохімікати на основі етилмеркурхлориду
Е	чорний	Миш'яковистий водень (арсин, гідрид арсену, арсен тригідрид, моноарсин, назва за IUPAC – арсан, AsH ₃) і фосфористий водень (фосфін, гідрид фосфору, фосфор тригідрид, назва за IUPAC – фосфан, PH ₃)
КД	сірий	Аміак, сірководень і їхні суміші
СО	білий	Монооксид вуглецю (карбону (II) оксид)
М	червоний	Сполуки для марок А, В, Е, КД, СО, але з меншим часом захисної дії.
БКФ	Захисний із білою вертикальною смугою	Кислі гази та пари; пари органічних сполук, миш'яковистий і фосфористий водень, пил, дим, туман.

* фільтрувальні коробки марок А, В, Г, Е, КД випускають із додатковим аерозольним фільтром, про що свідчить наявність білої вертикальної смуги на коробці; у такому випадку коробка захищає також від пилу, диму, туману.

Момент відпрацювання фільтрувальних коробок визначають:

- ✓ для коробок марок А, В, КД, Е, БКФ – за появою запаху контрольної сполуки під маскою;
- ✓ для коробки марки Г – за часом роботи (за концентрації парів ртуті у повітрі $1 \cdot 10^{-2}$ мг/м³ для коробок без фільтра – 100 год, для коробок з фільтром з індексом "8" – 80 год;
- ✓ для коробок марки СО – за збільшенням початкової маси на 50 г;
- ✓ для коробок марки М – за збільшенням початкової маси на 35 г (приріст маси коробки визначають зважуванням після кожного використання, роблячи відповідні позначки на етикетці).
- ✓ Гарантійний термін використання фільтрувальних коробок 3 роки з дати виробництва.

Герметичність протигазу перевіряють, зробивши 3–4 вдихи із закритим отвором у дні коробки. Якщо дихати так неможливо, то протигаз справний. Для виявлення несправності треба перевірити протигаз частинами.

Після роботи маску індивідуального протигаза зсередини протирають насухо чистою ганчіркою та висушують у розправленому вигляді.

Маску чергового протигаза протирають етиловим спиртом або 2 %-м розчином формаліну, або ж водою з милом і просушують.

Зберігати протигази варто подалі від нагрівальних приладів на спеціальних стелажах.

На сумці протигаза має бути етикетка із зазначенням марки фільтрувальної коробки та прізвища власника. Для чергових протигазів: зазначають прізвища співробітників лабораторії, для яких підходить шолом-маска за розміром і марка фільтрувальної коробки.

Під час зберігання протигазів без використання більше 3–5 років коробки мають випробовуватися на придатність до використання.

1.4. Зберігання реактивів

Зберігання реактивів на лабораторних складах

Приміщення для зберігання реактивів мають бути спеціально обладнані, мати ефективну вентиляцію, певну температуру та вологість повітря.

У складських приміщеннях слід дотримуватись певного порядку сумісного зберігання пожежо- та вибухонебезпечних речовин.

Заборонено сумісне зберігання:

- реактивів, що здатні реагувати між собою з виділенням тепла або горючих газів;
- речовини, які у випадку виникнення пожежі не можна гасити одним засобом пожежогасіння.

Окремо один від одного слід зберігати такі групи реактивів:

<i>Група</i>	<i>Приклад</i>
<i>Тверді окисники, що утворюють із горючими речовинами пожежо- та вибухонебезпечні суміші.</i>	Гіпохлорити, перхлорати, хлорати, перманганати, нітрати, хромати, дихромати, пероксиди металів тощо.
<i>Рідкі окисники, неорганічні кислоти та димлячі неорганічні сполуки кислотного характеру. Димлячі сполуки варто зберігати у витяжних шафах складів.</i>	Сірчана, хлороводнева, нітратна та хлорна кислоти, олеум, 30 %-й пероксид водню (пергідроль), бром, тіонілхлорид, сульфурілхлорид тощо.
<i>Стиснені, зріджені та розчинені гази. Горючі та вибухонебезпечні слід зберігати окремо від газів, що підтримують горіння. Можливо сумісне зберігання горючих газів з інертними та негорючими газами.</i>	<i>Горючі та вибухонебезпечні:</i> ацетилен, водень, пропан, бутан. <i>Підтримують горіння:</i> кисень, повітря, хлор. <i>Інертні та негорючі:</i> аргон, гелій, азот, діоксид вуглецю (карбон (IV)оксид) тощо.
<i>Речовини, що займаються під час контактування з</i>	Лужні та лужноземельні метали, пірофорні метали (наприклад, нікель

повітрям чи водою, або ж за незначного нагрівання.

Ренея, паладій та інші металічні каталізатори з розвиненою поверхнею), карбіди, силіциди, гідриди лужних і лужноземельних металів, білий фосфор. Металоорганічні сполуки належать до окремої групи зберігання, у зв'язку з особливостями їхнього гасіння.

Концентровані розчини та індивідуальні металоорганічні сполуки.

Триетилалюміній, діетилалюмінієхлорид, бутиллітій тощо.

Легкозаймисті та горючі рідини (ЛЗР і ГР).

ЛЗР з $T_{\text{кип.}} < 50^\circ\text{C}$ (діетиловий етер, пентан, сірковуглець, метилформіат та інші) влітку варто зберігати у прохолодних приміщеннях або холодильниках для запобігання збільшення тиску всередині тари.

Легкозаймисті тверді сполуки.

Червоний фосфор, сірка, нітроцелюлоза й інші нітросполуки, циклогексаноноксим тощо

Сильні отрути. Зберігають окремо (згідно зі спеціальними інструкціями).

Ціаніди, сполуки арсену, метанол.

Під час розміщення реактивів на складі варто мінімізувати можливість руйнування тари внаслідок необережного використання та аварійних ситуацій. Складні бутлі з речовинами місткістю 5–20 л зберігають у заводській упаковці, переважно полімерних обрешітках цільнолитой конструкції. Дерев'яні обрешітки повинні мати вогнетривке покриття й не містити інших пожежонебезпечних матеріалів. *Не можна зберігати складні бутлі місткістю 5–20 л без обрешіток.*

Зберігання реактивів у лабораторії

У лабораторії дозволено зберігати обмежену кількість необхідних для повсякденної роботи реактивів. У шафах для реактивів, на відкритих полицях, ємностях лабораторних столів можна зберігати лише нелеткі, пожежобезпечні й малотоксичні

тверді речовини та водні розчини, титровані розчини кислот і лугів, набори реактивів для якісного хімічного аналізу в тарі об'ємом 10–50 мл.

Бутлі з концентрованими мінеральними кислотами (хлороводневою, нітратною, сірчаною, а також хромовою сумішшю на основі концентрованої сірчаної кислоти) варто зберігати окремо один від одного у витяжній шафі на керамічних чи емальованих піддонах з піском або у фарфорових стаканах. Об'єм ємностей із кислотами не має перевищувати 1 л. За можливості виділяють окрему витяжну шафу для зберігання кислот та інших реактивів, що виділяють агресивні пари (бром, тіонілхлорид, амоніак й ін.).

Якщо під витяжною шафою, де є кислоти проводяться пожежонебезпечні роботи, зокрема, перегонка ЛЗР, то на час таких робіт кислоти треба тимчасово прибрати з робочої зони.

Не можна зберігати димлячі мінеральні кислоти в нижніх невентильованих секціях витяжних шаф, щоб запобігти появі карієсу та корозії матеріалів, зокрема, сантехнічних елементів, що зберігаються у шафі.

Легкозаймисті й горючі рідини зберігаються у ємностях об'ємом до 1 л, які бажано зберігати в металічних ящиках, а сумарна кількість у лабораторії, зазвичай не має перевищувати 3–5 л. Проте у ящиках для ЛЗР не можна зберігати рідини з $T_{\text{кип.}} < 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (діетиловий етер, пентан, сірковуглець та інші), а також розчини горючих газів у ЛЗР, наприклад, розчин диметиламіну у толуолі. Такі розчинники варто зберігати в холодильниках для реактивів.

1.5. Фасування реактивів

Досить часто реактиви потрапляють до лабораторії в достатньо габаритній тарі. Варто пам'ятати, що *відбирати маленькі порції речовин безпосередньо з великих бутлів, бочок та інше заборонено!* Тож перед використанням варто розфасувати реактиви.

Фасування твердих реактивів. Реактиви, що подразнюють шкіру та слизові оболонки, варто розфасовувати у спеціальних вентильованих приміщеннях або на відкритому повітрі (за умови,

теплої, сухої та безвітряної погоди). Крім халата, обов'язково мають бути гумові рукавички, захисні окуляри або маска, респіратор чи протигаз (під час роботи з речовинами, що виділяють їдкі пари або пилять). Після роботи з останніми речовинами рекомендується прийняти душ, а спецодя випрати.

Фасування рідин. Такі процедури варто робити за допомогою сифонів або витісняти рідину під невеликим напором повітря. Для переливання рідин із великих бутлів зручно використовувати дерев'яні або металічні стояки (ємність жорстко фіксується у гнізді, насадженому на вісь, завдяки чому її можна плавно нахилити під будь-яким кутом) (рис. 1.1а,б).

Особливо обережно варто переливати концентровані кислоти, а також інші агресивні й небезпечні рідини. Для запобігання розбризкуванню, треба слідкувати, щоб рідина витікала тонкою рівномірною цівкою.

Будь-які операції з їдкими, агресивними рідинами проводять у гумових рукавичках і захисній масці! Під час роботи з великими об'ємами (> 1 л) таких рідин треба одягати гумові чоботи й довгий прогумований фартух!

Фасування їдких реактивів мають проводити не менше двох людей. Причому, наготові має бути в достатній кількості вода й засоби нейтралізації (розчин соди або кислоти).

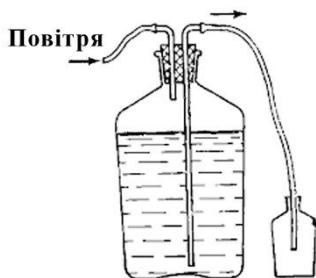


Рис. 1.1а. Переливання рідини з великої ємності під тиском повітря

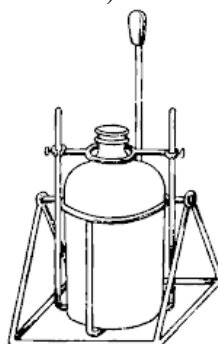


Рис. 1.1б. Засіб для нахилу великих бутлів

Фасування органічних розчинників

Пари більшості розчинників не проявляють суттєвої подразнювальної дії, але вони токсичні. Зважаючи на це робота з ними вимагає акуратності та виконання певних заходів безпеки. Наприклад, під час фасування тетрахлорметану, бензолу, нітробензолу, піридину, метанолу, сірковуглецю варто використовувати сифони. Роботи обов'язково проводити з ефективною вентиляцією в багатьох випадках, бажано у протигазі.

Розділ 2. Класифікація та маркування хімічних речовин

2.1. Узгоджена на глобальному рівні система класифікації та маркування хімічних речовин (УГС)

Узгоджена на глобальному рівні система класифікації та маркування хімічних речовин (УГС) або Глобальна гармонізована система класифікації і маркування хімічних речовин (The Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS)) – це система класифікації та маркування хімічних речовин і сумішей, міжнародно узгоджений стандарт, створений Організацією Об'єднаних Націй (ООН) для заміни різноманітних схем класифікації та маркування небезпечних матеріалів у всьому світі на єдину універсальну систему³.

2.1.1. Елементи УГС

2.1.1.1. Класифікація речовин за профілем небезпек

Система дозволяє класифікувати речовини за факторами небезпеки, які поділяють на *фізичні небезпеки, небезпеки для здоров'я, небезпеки для довкілля*.

Фізичні небезпеки

- ✓ **Вибухові речовини** – це речовини або суміші, здатні до хімічної реакції з виділенням газів за таких температур, тиску та з такою швидкістю, що це спричиняє пошкодження навколишніх предметів. До цієї ж категорії належать піротехнічні речовини (навіть, якщо вони не виділяють газів).
- ✓ **Займисті гази** – це гази або суміші газів, що спалахують на повітрі за 20 °C і тиску 101,3 кПа.
- ✓ **Займисті аерозолі** – це аерозолі, що мають хоча б один компонент у своєму складі, який окремо можна охарактеризувати як займистий за критеріями УГС.

³ Розробка положень УГС було розпочато на Конференції з довкілля й розвитку ООН у 1992 р. Перше видання УГС було опубліковане у 2003 р., остання актуальна редакція (восьме видання) 2019 р.

- ✓ **Окиснювальні гази** – це гази, що здатні викликати або підтримати горіння інших речовин у більшій мірі, ніж кисень.
- ✓ **Гази під тиском** – це гази, що містяться в контейнері під тиском не нижче 200 кПа за 20 °С або у зрідженій чи зрідженій охолодженій формі. До цієї категорії належать стиснені, скраплені, розчинені й охолоджені зріджені гази.
- ✓ **Займисті рідини** – це рідини з температурою спалаху не більше 93 °С.
- ✓ **Займисті тверді матеріали** – це тверді речовини, які можуть викликати або сприяти пожежі через тертя.
- ✓ **Самореактивні речовини та суміші** – це термічно нестійкі тверді речовини, здатні зазнавати сильного екзотермічного розкладання навіть без участі кисню (повітря), крім матеріалів, що належать до інших класів (вибухонебезпечні речовини, органічні пероксиди й окисники).
- ✓ **Пірофорні рідини** – рідкі речовини, що навіть у невеликих кількостях можуть самозайматись упродовж 5 хв після контакту з повітрям.
- ✓ **Пірофорні тверді речовини** – тверді речовини, що навіть у невеликих кількостях можуть самозайматись упродовж 5 хв після контакту з повітрям.
- ✓ **Речовини та суміші, що самонагріваються** – матеріали, які внаслідок реакції з повітрям і без подачі енергії ззовні можуть піддаватися самонагріванню. Від пірофорних речовин вони відрізняються тим, що можуть самозайматись лише у великих кількостях (кілограми) і протягом тривалих періодів часу (години, дні).
- ✓ **Речовини та суміші, що виділяють займисті гази під час контакту з водою** – це ті, що під час контакту з водою спонтанно самозаймаються або виділяють займисті гази в небезпечних кількостях.
- ✓ **Окиснювальні рідини** – рідини, що через виділення кисню викликають або підтримують горіння; водночас вони можуть не бути займистими.

- ✓ **Окиснювальні тверді речовини** – тверді речовини, що через виділення кисню викликають або підтримують горіння; водночас вони можуть не бути займистими.
- ✓ **Органічні пероксиди** – тверді речовини або рідини, що містять пероксидну групу та можуть розглядатись як органічні аналоги пероксиду водню. Вони є нестійкими сполуками, що можуть зазнавати самоприскорювального розкладання.
- ✓ **Речовини, що викликають корозію металів** – речовини або суміші, що можуть у значній мірі пошкодити чи навіть зруйнувати метали внаслідок хімічної реакції.

Небезпеки для здоров'я

- ✓ **Гостра токсичність** визначається шкідливим впливом речовини після введення у шлунок або нанесення на шкіру одноразової дози, періодичного впливу речовини протягом 24 год або шляхом інгаляції протягом 4 год; категоризація відбувається залежно від значення LD₅₀ (перорально, шкірно) або LC₅₀ (інгаляція).
- ✓ **Подразнення шкіри** означає незворотне або зворотне ураження шкіри після дії досліджуваної речовини протягом 4 год.
- ✓ **Серйозне пошкодження/подразнення очей** означає пошкодження тканин ока або серйозне погіршення зору після нанесення досліджуваної речовини на передню поверхню ока; серйозне пошкодження не відновлюється протягом 21 дня після ушкодження; подразнення не проходить протягом одного дня.
- ✓ **Респіраторна або шкірна сенсибілізація** – гіперчутливість дихальних шляхів після вдихання речовини або алергічна реакція після контакту речовини зі шкірою.
- ✓ **Мутагенність ембріональних клітин (гоноцитів⁴)** – підвищення вірогідності мутацій у популяціях клітин і / або організмів із передаванням цих мутацій потомству.

⁴ Гоноцит або первинна статеві клітина – ембріональна клітина, із якої можуть утворитись сперматозоїди та яйцеклітини.

- ✓ **Канцерогенність** – підвищення ризику виникнення пухлин або швидкості їхнього розвитку. Класифікація заснована на властивостях притаманних речовині й не дає інформації щодо рівня небезпеки під час роботи з цією речовиною.
- ✓ **Репродуктивна токсичність** – несприятливий вплив на статеву функцію дорослих чоловіків і жінок, а також на розвиток потомства.
- ✓ **Специфічна токсичність для органів-мішеней** за одно- чи багаторазового впливу на органи-мішені.
- ✓ **Аспіраційна небезпека** – виникає під час потрапляння речовин безпосередньо через ротову або носову порожнину у трахею та нижні дихальні шляхи. Наслідки можуть бути різними за важкістю залежно від ступеня ураження легень.

Небезпеки для довкілля

Небезпеки для довкілля поділяються на два класи:

- ✓ **Токсичність для водних організмів** – речовини можуть спричиняти шкоду водним організмам.
- ✓ **Токсичність для озонового шару** – визначає деструктивний вплив речовини на озон у верхніх шарах атмосфери.

2.1.1.2. Елементи маркування згідно з УГС

Інформація про відповідні типи небезпеки речовин і матеріалів закодована у стандартизованих елементах маркування: *пиктограми небезпеки, сигнальні слова, заходи безпеки* (Р-фрази), *короткі характеристики небезпеки* (Н-фрази).

- **Пиктограми небезпеки** (GHS Hazard pictograms): передають інформацію про небезпеку для здоров'я, фізичну й екологічну небезпеку. Пиктограми мають чорний символ на білому тлі з червоним обрамленням.
- **Сигнальне слово**: "*Небезпека*" або "*Увага*" підкреслює наявність небезпеки та вказує відносний рівень серйозності небезпеки. Слово "*Небезпека*" використовують для позначення більш високих класів небезпеки, а слово "*Увага*" – для менш небезпечних матеріалів. *Важливо* (!) – на етикетці повинно використовуватися лише одне сигнальне слово, що відповідає класу найбільшої небезпеки.

- **Заходи безпеки (P-фрази, *Precautionary statements*):** уніфіковані фрази, що містять інформацію щодо заходів із запобігання, мінімізації й усунення наслідків несприятливих впливів хімічних речовин, а також їхнього зберігання та утилізації.
- **Короткі характеристики небезпеки (H-фрази, *Safety advice concerning dangerous substances and preparations*):** Стандартні фрази, що інформують про характер і ступінь небезпеки. Якщо продукт спричиняє більш ніж одну небезпеку, етикетка має містити відповідну фразу до кожної небезпеки.

2.1.1.2.1. Піктограми небезпеки

Для позначення небезпеки речовин у системі УГС використовують 9 піктограм. Під час транспортування використовують піктограми іншого типу.

УГС виділяє два типи піктограм: стандартні піктограми (для маркування контейнерів і попереджень про небезпеку безпосередньо на робочому місці) і транспортні піктограми (для використання під час транспортування небезпечних вантажів). Залежно від цільової аудиторії, обирається один відповідний набір піктограм, але обидва не використовуються на одній етикетці.

Піктограми використовують в комплексі з іншими елементами маркування УГС (див. дод. 2, табл. 2.1).

2.1.1.2.2. Заходи безпеки (P-фрази, *Precautionary statements*)

Заходи безпеки позначаються певним кодом типу **Pхуу** (літера **P** позначає *тип фрази (захід безпеки)*, **х** – цифра, що вказує *тип заходу безпеки*; **уу** – цифри для послідовної нумерації P-фраз.

Типи заходів безпеки **х** P-фраз поділяються на класи:

- 1 – загальні заходи безпеки;
- 2 – заходи безпеки при запобіганні;
- 3 – заходи безпеки при реагуванні;
- 4 – заходи безпеки при зберіганні;
- 5 – заходи безпеки при утилізації.

Розглянемо на прикладі: припустимо, що для певної сполуки ми бачимо таке кодування – P202. Аналізуючи цю позначку маємо розуміти, що в цьому кодуванні літерою **P** позначають "заходи безпеки", **P202** перша цифра, що вказує тип заходу безпеки ($x = 2$) і позначає "заходи безпеки при запобіганні", наступні дві цифри у коді **P202** ($yy = 02$) – зазначають конкретний захід у послідовній нумерації Р-фраз, зміст якого знаходимо у відповідній таблиці (див. дод. 2, табл. 2.2). У цьому прикладі P202 відповідає така інформація: "Не приступати до роботи доти, поки не прочитана й не зрозуміла інформація про заходи безпеки".

Детальна інформація про заходи безпеки (Р-фрази) наведена у дод. 2, табл. 2.2.

2.1.1.2.3. Короткі характеристики небезпеки (H-фрази, Hazard phrase або H-phrase, Safety advice concerning dangerous substances and preparations)

Стандартні фрази, що інформують про характер і ступінь небезпеки. Якщо продукт спричиняє більш ніж одну небезпеку, етикетка має містити відповідну фразу до кожної небезпеки.

Заходи небезпеки позначаються певним кодом типу **Нхуу** (літера **Н** є загальною для позначення *короткої характеристики небезпеки*, **х** – цифра, що вказує *тип небезпеки*; **уу** – цифри для послідовної нумерації конкретних видів небезпеки, обумовлених фізико-хімічними властивостями речовини).

Типи небезпеки х Н-фраз поділяються на класи:

- 2 – фізичні небезпеки;
- 3 – небезпеки для здоров'я;
- 4 – небезпеки для довкілля.

Розглянемо на прикладі: припустимо для певної сполуки ми бачимо таке кодування – H305. Аналізуючи цю позначку маємо розуміти, що в цьому кодуванні літера **H** вказує на "характеристики небезпеки", **H305** перша цифра, що характеризує небезпеку ($x = 3$) і позначає "небезпеки для здоров'я", наступні дві цифри у коді **H305** ($yy = 05$) – зазначають конкретний вид небезпеки в послідовній нумерації Н-фраз, зміст

якого знаходимо у відповідній таблиці (див. дод. 2, табл. 2.3). У цьому прикладі H305 відповідає така інформація: "Може бути шкідливим у процесі ковтання й потрапляння в дихальні шляхи".

Детальна інформація про короткі характеристики небезпеки (H-фрази) наведена у дод. 2, табл. 2.3.

2.1.1.3. Сертифікат безпеки

Інформація про небезпеку зазначається також у *сертифікатах безпеки матеріалу* (Material Safety Data Sheet, MSDS) або *сертифікатах безпеки* (Safety data sheet, SDS). Створення сертифіката безпеки є обов'язком виробника.

Сертифікат надавати вичерпну інформацію про хімічний продукт, можливі небезпеки, пов'язаними із його використанням.

Сертифікат безпеки включає 16 розділів:

1. Ідентифікація.
2. Ідентифікація небезпек.
3. Склад/інформація про інгредієнти.
4. Заходи з надання першої допомоги.
5. Заходи пожежогасіння.
6. Заходи, що застосовують при аварійному викиді.
7. Робота з продуктом і його зберігання.
8. Контроль впливу / особистий захист.
9. Фізико-хімічні властивості.
10. Стабільність і реакційна здатність.
11. Токсикологічна інформація.
12. Екологічна інформація.
13. Утилізаційні заходи.
14. Інформація про транспорт.
15. Інформація про правове регулювання.
16. Інша інформація.

2.2. Фрази ризику й безпеки

Фрази ризику (скорочення **Р-фрази**, *англ.* Risk Statements, R statements, R numbers, R phrases, R sentences) визначені в Додатку III європейської Директиви 67/548/EEC: "Характер особливих ризиків притаманних небезпечним речовинам і препаратам" –

стандартні фактори ризику під час використання небезпечних сполук.

Фрази безпеки (англ. **S-фрази**; англ. Safety Statements, S statements, S numbers, S phrases, S sentences) – стандартні фрази, які використовуються у Європі й інших країнах світу для відображення ступенів ризику та засобів використання тих або інших речовин.

Дані з ризику та безпеки складаються з двох частин: фраз ризику (**R**) і фраз безпеки (**S**). Кожна частина складається з літер (**R** та **S**) і наступного переліку номерів, що кодують конкретні фактори ризику та вказівки з безпеки. Певне сполучення "літера-номер" уніфіковано для всіх мов.

Під час перелічення номери розділяють дефісом "-" і фрази, що відповідають кожному з номерів наводять повністю, не об'єднуючи їх.

Деякі комбінації фраз є стандартними і їх об'єднують в одну фразу, а номери вихідних фраз перелічують через скісну "/".

Детальна інформація про *фрази ризику (R-фрази)* і *фрази безпеки (S-фрази)* наведена в додатку 2, табл. 2.4, 2.5.

2.3. Квадрат безпеки

Квадрат безпеки призначений для швидкої оцінки безпеки, що виникла внаслідок аварії з небезпечними речовинами. Він допомагає визначити, яке спеціальне обладнання, процедури й заходи безпеки слід використовувати при першій допомозі та надзвичайних ситуаціях.

Ця класифікація розроблена як стандарт "*NFPA 704: Стандартизована система для ідентифікації небезпечних матеріалів із ліквідації надзвичайних ситуацій*" – це стандарт, який підтримується американською Національною Асоціацією Протипожежного Захисту (National Fire Protection Association.(NFPA)). У розмовній мові вживається як "Safety Square" або "fire diamond").

У чотирьох полях квадрату вказується три головних види безпеки й четверта додаткова інформація:

Вид небезпеки	Положення поля	Колір
Небезпека для здоров'я	ліве поле	блакитне
Пожежонебезпечність	верхнє поле	червоне
Хімічна стабільність	праве поле	жовте
Особливі примітки	нижнє поле	біле

Перші три категорії небезпеки оцінюються за *шкалою* від **0** (найнижчий рівень) до **4** (найвищий рівень небезпеки).



Таблиця 2.6

Інформаційне наповнення квадрата небезпеки

Небезпека для здоров'я (блакитне)	
4	Дуже короточасний вплив може спричинити смерть або суттєві залишкові пошкодження (наприклад, синильна кислота, фосфін)
3	Короточасний вплив може спричинити суттєві тимчасові або помірні залишкові наслідки (наприклад, хлор, сірчана кислота)
2	Інтенсивний або тривалий, але не хронічний вплив може спричинити тимчасову непрацездатність або можливі залишкові пошкодження (наприклад, діетиловий етер)
1	Вплив може спричинити лише подразнення з мінімальними залишковими пошкодженнями (наприклад, ацетон)
0	Не становить небезпеки для здоров'я, не потребує заходів запобіжних заходів (наприклад, ланолін, гідрокарбонат натрію)

Пожежонебезпечність (червоне)	
4	Швидко або повністю випаровується за нормального атмосферного тиску й температури або легко розсіюється в повітрі та легко займається (наприклад, пропан). Температура спалаху нижче 23 °C (73 °F)
3	Рідини і тверді речовини, здатні займатись майже за температури зовнішнього середовища. Температура спалаху в інтервалі 23 °C (73 °F) – 38 °C (100 °F) (наприклад, ацетон)
2	Для займання необхідне певне нагрівання або відносно висока температура повітря (наприклад, дизельне паливо). Температура спалаху в інтервалі 38 °C (100 °F) – 93 °C (200 °F)
1	Слід нагріти перед займанням (наприклад, соєва олія). Температура спалаху вище 93 °C (200 °F)
0	Незаймиста речовина (наприклад, вода)

Хімічна стабільність (жовте)	
4	Здатна до детонації або вибухового розкладу за нормальних температури й тиску (наприклад, нітрогліцерин, гексоген)
3	Здатна до детонації або вибухового розкладу, але потребує ініціювання, має нагріватися в замкненому просторі, реагує з водою із вибухом або детонує при сильному ударі (наприклад, нітрат амонію)
2	Зазнає суттєвих хімічних змін за підвищених температури й тиску, бурхливо реагує з водою або може утворювати вибухові суміші з водою (наприклад, фосфор, калій, натрій)
1	Зазвичай стабільна, але може стати нестійким за підвищених температурі й тиску (наприклад, пероксид водню, пропен)
0	Стабільна навіть при дії відкритого полум'я та не реагує з водою (наприклад, гелій, азот)

Особливі примітки (біле)	
W	Реагує з водою незвичайним або небезпечним чином (наприклад, цезій, натрій, рубідій, сірчана кислота)
OX або OXY	окисник (наприклад, перхлорат калію, нітрат амонію, пероксид водню)
SA	просто задушливий газ (не підтримує дихання, але й не токсичний) газ (азот, гелій, неон, аргон, криптон, ксенон, також повинен використовуватися для систем відведення парів зрідженого вуглекислого газу та у випадках, коли велика кількість сухого льоду використовується в обмежених зонах)
<i>Нестандартні символи</i> (ці символи не є частиною стандарту NFPA 704, але іноді використовуються на неофіційній основі)	
COR	(англ. <i>Corrosive</i>): Їдкий; сильна кислота або основа (наприклад, сірчана кислота, гідроксид калію)
ACID та ALK	(англ. <i>Acid</i>) та (англ. <i>Alkali</i>) відповідно для конкретизації корозійної дії
 / BIO	Біологічна небезпека (наприклад, вірус натуральної віспи)
 / POI:	(англ. <i>Poison</i>): Отруйний (наприклад, стрихнін)
 або RA або RAD	Радіоактивний (наприклад, плутоній, уран)
CRY або CRYO	(англ. <i>Cryogenic</i>): Низька температура (наприклад, рідкий азот)

Розділ 3. Перша домедична допомога

3.1. Зупинка серця й дихання

Основними причинами порушення серцевої діяльності або дихання під час роботи в хімічній лабораторії можуть бути ураження електричним струмом або гостре отруєння.

Незворотні процеси в головному мозку відбуваються вже через 5–6 хв після зупинки серця або дихання.

Отже, важливо вчасно надати першу допомогу: масаж серця та штучна вентиляція легень.

Ознаки зупинки серцевої діяльності:

- знепритомнення;
- відсутність пульсу;
- зупинка дихання;
- різке збліднення шкірних покривів;
- поява уривчастих вдихів;
- розширення зіниць.

Непрямий масаж серця

Непрямий масаж серця полягає в ритмічному натисканні на передню стінку грудної клітки. Унаслідок чого серце стискається між грудниною та хребтом і виштовхує зі своїх порожнин кров; у проміжках між натисканнями серце пасивно розправляється й заповнюється кров'ю. Цього достатньо для кровопостачання всіх органів і тканин та підтримки життєво важливих функцій організму. Масаж серця обов'язково комбінують зі штучним диханням.



Рис. 3.1. *Позиція під час проведення непрямого масажу серця*

Техніка проведення непрямого масажу серця. Потерпілого кладуть на рівну тверду поверхню на спину, краще (але не обов'язково) нахилити голову вбік. Для кращого притоку крові з нижньої частини тіла до серця бажано підняти ноги потерпілого приблизно на 50 см. Необхідно швидко звільнити грудну клітку від одягу, що заважає.

Той, хто надає допомогу, займає зручну позицію праворуч чи ліворуч від потерпілого, розміщує долоню однієї руки на нижній частині груднини, а другої руки – на тильному боці першої. Натискання варто проводити енергійними поштовхами випрямлених у ліктях рук, використовуючи масу власного тіла (рис. 3.1).

Нижня частина груднини потерпілого має прогинатись на 3–4 см, а в повних людей – на 5–6 см. Не варто натискати на закінчення нижніх ребер, оскільки це може призвести до їхнього перелому (рис. 3.2).

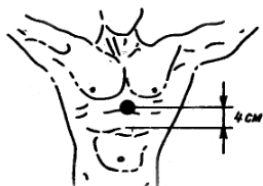


Рис. 3.2. *Визначення місця розміщення долоні під час проведення непрямого масажу серця*

Із кожним поштовхом необхідно затримати руки в цьому положенні приблизно на $1/3$ с, після чого дозволити грудній клітці розправитись, не відриваючи від неї рук. Частота натискань має бути приблизно 1 раз/с; через кожні 5–6 поштовхів роблять перерву на 2–3 с. Якщо допомогу надають *дві* людини, друга в цей час робить штучний вдих. У разі надання допомоги *однією* людиною необхідно чергувати *два* швидких вдихання

повітря в легені та 10 натискань на грудну клітку з інтервалом 1 с. Масаж серця проводять до появи в потерпілого власного регулярного пульсу. Пульс перевіряють під час 2–3 секундної перерви масажу у процесі вдихання повітря в легені. Найзручніше перевіряти пульс на сонній артерії. Масаж слід проводити досить обережно, щоб запобігти виникненню переломів ребер і груднини.

Штучне дихання

Найбільш доступним та ефективним методом проведення штучного дихання є "з рота до рота" або "з рота в ніс".

Підготовка до штучного дихання полягає у швидкому виконанні такого алгоритму:

- потерпілого вкласти на спину на горизонтальну поверхню, розстебнути одяг, що ускладнює дихання та кровообіг;
- встати праворуч від потерпілого, праву руку покласти під його шию, ліву – на лоб і максимально відхилити голову назад так, щоб підборіддя було практично на одній лінії з шиєю; зазвичай за такого відхилення голови рот відкривається.
- якщо щелепи потерпілого щільно стиснені – висунути нижню щелепу великими пальцями обох рук так, щоб нижні різці заходили за верхні, або розсунути щелепи плоским міцним предметом (шпателем та ін.);
- обгорнути палець чистою тканиною або марлею, звільнити рот потерпілого від слизу, блювотних мас, зубних протезів (за наявності).

Доволі часто вже під час підготовчих маніпуляцій відновлюється самостійне дихання.

Техніка проведення штучного дихання. Для проведення штучного дихання людина, яка надає допомогу, робить глибокий вдих, охоплює своїми губами напіввідкритий рот потерпілого, затискає пальцями його ніс і робить енергійний видих (рис. 3.3а).



а



б

Рис. 3.3а,б. Проведення штучного дихання "з рота до рота":

а) із використанням підручних засобів,

б) із використанням кишенькової (реанімаційної) маски



Рис. 3.3в. Проведення штучного дихання за допомогою портативного апарата

Також штучне дихання можна робити за допомогою ручного портативного апарата (за його наявності в аптечці) (рис. 3.3 б, в).

Для дотримання гігієнічних норм рот або ніс потерпілого можна прикрити чистою тканиною, марлею або поліетиленовою плівкою з отворами. Видих потерпілого відбувається пасивно внаслідок еластичності грудної клітки. За *хвилину* слід робити 12–15 вдувань повітря. Рекомендований об'єм повітря, що "вдихається" за 1 раз не має перевищувати 1–1,5 л, щоб не спричинити баротравму легень.

На початку потрібно зробити 5 швидких сильних "вдихів", щоб змінити газове середовище, після чого продовжити процедуру з ритмом, як зазначено вище – 10–15 вдихів на хвилину. Потрапляння повітря в легені контролюється розширенням грудної клітки; під час потрапляння повітря у шлунок (здуття живота), необхідно натиснути на ділянку між грудниною та пупком для його видалення. Проте може початись блювота, тому голову потерпілого завчасно повертають вбік.

Після появи самостійного дихання варто ще деякий час продовжувати штучне дихання, синхронізуючи вдювання повітря з початком власного вдиху потерпілого. Штучну вентиляцію легень проводять до появи ритмічного й достатньо глибокого дихання або до прибуття медиків.

3.2. Термічні опіки

У хімічній лабораторії найбільш розповсюдженими є термічні опіки кистей рук I і II ступенів. Складніші випадки опіків виникають унаслідок пожеж і особливо під час займання одягу.

За ступенем важкості опіки умовно поділяють на чотири групи:

- I ступінь – еритема (почервоніння) шкіри;
- II ступінь – утворення пухирців;
- III ступінь – некроз окремих ділянок шкіри;
- IV ступінь – некроз більш глибоких тканин.

Опіки *I ступеня* є небезпечними в разі ураження > 50 % поверхні тіла, опіки *II ступеня* призводять до розвитку опікового шоку при ураженні 25–30 % поверхні тіла, опіки *III ступеня* – при ураженні < 25 % поверхні (долоня людини $\approx$ 1 % поверхні тіла). Завданням першою допомоги при тяжких термічних опіках: знеболення й запобігання травмування, подразнення та забруднення пошкоджених ділянок шкіри.

При опіках *I ступеня* ефективною допомогою є прикладання ватного чи марлевого тампону, рясно змоченого спиртом, до ураженої ділянки шкіри. Такий компрес тримають до зникнення печіння та за необхідності повторно змочують його спиртом.

При термічних опіках шкіри (крім обмежених опіків I ступеня) слід викликати лікаря або доправити потерпілого до найближчого медичного закладу.

До надання медичної допомоги слід обережно (не травмуючи) оголити уражену ділянку й закрити її сухою асептичною пов'язкою. Крім того, не можна будь-яким чином очищувати уражену ділянку, зокрема видаляти рештки одягу, що прилипли.

Обробку опіків мазями або накладання компресів можуть здійснювати лише кваліфіковані медпрацівники.

Сильний біль є одним із головних чинників погіршення загального стану потерпілого в перші години після опіку. Для знеболення варто використовувати будь-які доступні анальгетики; знеболюючий ефект також має сухий холод (лід, сніг, холодна вода у водонепроникній ємності, наприклад, у поліетиленовому пакеті) накладений на пов'язку. Охолодження зменшує набряк і запальні процеси в уражених тканинах.

При опіках II і III ступенів не варто змочувати уражені ділянки холодною водою. Під час надання першої допомоги *не можна* (!) промивати тяжкі опіки етиловим *спиртом*, *пероксидом водню* чи іншими засобами, змащувати *мазями*, *жирами* й *оліями*, присипати *харчовою содою*, *крохмалем* та ін.

Найбільш розповсюджені причини термічних опіків:

- ✓ контакт із нагрітими предметами (посудом, газовими пальниками, електроплитками) і легкозаймистими сполуками;
- ✓ викид гарячої реакційної маси або вибух;
- ✓ контакт із нагрітими вище 100 °С речовинами нагрівальних бань (силіконова олія й мінеральні масла (висококиплячі нафтові фракції ароматичної будови), гліцерин тощо). Головне завдання під час таких опіків – максимально швидко видалити олію зі шкіри за допомогою рушника, фільтрувального паперу або вати;
- ✓ викид нагрітої до високої температури реакційної суміші внаслідок: неефективного перемішування реакційної маси, недотримання швидкості та порядку додавання реагентів або їхньої концентрації, надмірне попереднє охолодження реакційної суміші (спочатку викликає затримку реакції, а потім стрімкий її розвиток) тощо. У цьому випадку можливо спричинення комбінованого опіку (термічний + хімічний);
- ✓ контакт зі зрідженими газами та твердою вуглекислою. При подрібненні твердої вуглекислоти, її варто попередньо загорнути в суху бавовняну тканину.

3.3. Хімічні опіки

Речовини, що викликають хімічні опіки, можуть належати до різних класів сполук: мінеральні та карбонові кислоти, хлорангідриди кислот (наприклад, хлорсульфонова кислота, тіоніл- і сульфурилхлориди), галогеніди фосфору й алюмінію, фенол, луги, алкоголяти лужних металів, а також сполуки нейтрального характеру – рідкий бром, білий фосфор, диметилсульфат, нітрат срібла, хлорне вапно, ароматичні нітросполуки. Розглянемо дію деяких представників цих класів сполук.

Кислоти і луги

Якщо на шкіру потрапляє подразнювальна (їдка) речовина, то спочатку її видаляють сухою бавовняною тканиною або ватою, і тільки потім уражену ділянку промивають струменем *води* з-під крану впродовж 15 хв.

Далі при опіках *кислотами* та кислотоподібними сполуками роблять примочки 2 %-м розчином *гідрокарбонату натрію*, а при опіках *лугами* – 2%-м розчином *оцтової* або *лимонної* кислот.

Луги важко швидко видалити з ураженої ділянки (порівняно з кислотами), оскільки вони викликають набухання шкіри, що часто спричиняє виникнення досить тяжких опіків. Алкоголяти та їхні спиртові розчини діють ще агресивніше.

Під час потрапляння будь-яких агресивних речовин *в очі* слід терміново промити очі водою за допомогою душі або водяного фонтанчика (за відсутності останніх, можна опустити обличчя в таз або іншу ємність із водою) упродовж 10–15 хв. Повіки ураженого ока під час промивання мають бути відкритими.

У випадку потрапляння в очі кислоти після промивання водою продовжують промивання 2 %-м розчином *гідрокарбонату натрію*. За наявності різкого болю закапати 1–2 краплини 1 %-го розчину новокаїну.

Особливо небезпечним є потрапляння в очі *лугів* (*часто призводить до сліпоты (!)*). Після видалення основної маси лугу за допомогою струменю *води* далі промивають очі 0.5 %-м водним розчином борної кислоти або 1 %-м розчином аскорбінової кислоти в теплій воді. Після нейтралізації

рекомендується промивати очі *ізотонічним* (фізіологічним) розчином *хлориду натрію* (0.9 %-й) ще 30–60 хв.

При ураженні очей хімічними речовинами після ретельного промивання очей слід обов'язково звернутись до офтальмолога.

Серед мінеральних кислот найнебезпечніші: плавикова (фтороводнева) і концентрована азотна кислоти, суміш азотної та соляної ("царська горілка"), а також азотної та концентрованої сірчаної ("нітруюча суміш") кислот.

Концентрована плавикова кислота дуже швидко роз'їдає шкіру й нігті з утворенням болючих виразок, які довго не загоюються. Під час опіків плавиковою кислотою уражені ділянки промивають водою та обробляють 2.5 %-м гелем глюконату кальцію.

Серед похідних сірчаної кислоти найагресивнішою є хлорсульфонова кислота (викликає сильні хімічні опіки). Тривалий контакт сірчаної та хлоросульфонові кислот зі шкірою спричиняє її обвуглення й утворення глибоких виразок.

Концентрована азотна кислота під час контакту зі шкірою викликає сильне печіння, шкіра жовтіє і при тривалішому контакті утворюється рана.

Менш агресивно (серед мінеральних кислот) діє хлороводнева кислота. Вона викликає лише свербіж і подальше лущення шкіри. Аналогічний вплив мають тіонілхлорид, галогеніди фосфору та хлористий алюміній. Під впливом вологи шкіри, вони гідролізують із виділенням хлороводневої та фосфорної кислот, які і викликають опік.

Представники карбонових кислот (трифтор- і трихлороцтові, ацетилендикарбонова, моно- та дихлороцтові кислоти) також викликають сильні хімічні опіки та виразки (особливо під час використання їхніх розчинів у органічних розчинниках).

Феноли

Фенол і більшість заміщених фенолів під час контакту зі шкірою викликають появу мокнучих лишаїв, а при тривалій дії некроз тканин.

Нітросполуки

Більшість нітросполук ряду бензолу, а також полінітро- та нітрозосполуки викликають екзему. Найактивнішими є галогендинітробензоли та нітрозометилсечовина.

Білий фосфор

За таких опіків після ефективної обробки ураженої ділянки великою кількістю води роблять компрес із 1 %-го розчину мідного купоросу або розведеного розчину перманганату калію. Бажано звернутися до лікаря.

Варто зазначити, що під час потрапляння на шкіру *органічних сполук*, їх видаляють тампоном із марлі, бавовняної тканини або вати, трохи змоченим розчинником, близьким за полярністю до речовини, що потрапила на шкіру (спирт, ефір, бензол та ін.). *Не варто* використовувати велику кількість розчинника, оскільки утворений розчин може всмоктуватись шкірою і викликати ураження глибших шарів тканин.

3.4. Ураження електричним струмом

Ураховуючи, що ступінь ураження електричним струмом залежить від тривалості його дії на організм, першим кроком під час надання допомоги має бути якомога швидше припинення контакту зі струмом. Оптимальним варіантом є знеструмлення лабораторії загальним рубильником або, якщо це можливо, відключення від електромережі приладу, що спричинив ураження.

Заборонено торкатись голими руками до оголених частин тіла потерпілого до розмикання електричного ланцюга.

У разі втрати свідомості – перевірити наявність пульсу й дихання; за наявності останніх – вкласти потерпілого на спину та повернути голову вбік, оббризкати лице холодною водою, дати понюхати вату, змочену нашатирним спиртом.

Після опритомнення можна дати випити 15–20 крапель настою валеріани та гарячий чай.

За наявності *слабкого* та *нерівномірного дихання* або *відсутності пульсу й дихання* – зробити штучне дихання і масаж серця.

При ураженні електричним струмом (у випадку навіть короточасної втрати свідомості) незалежно від самопочуття – обов'язково звернутись до лікаря.

Якщо внаслідок ураження струмом людина зазнала опіків – надати першу допомогу як при термічних опіках.

3.5. Кровотечі

Залежно від типу пошкоджених судин розрізняють кровотечі:

- ✓ капілярні;
- ✓ венозні;
- ✓ артеріальні.

При *капілярній* і *венозній* кровотечах кров темна, витікає краплинами або струменем. Для зупинення такої кровотечі на рану накладають тиснучу пов'язку. При артеріальній кровотечі кров яскравого червоного кольору, витікає пульсуючим струменем. Артеріальну кровотечу зупиняють накладанням джгута (вище рани) або повного згинання кінцівки у суглобі та фіксації її в такому положенні за допомогою ремня чи бинта.

При наданні першої допомоги варто дотримуватись таких правил:

- ✓ промивають рану лише у випадку потрапляння в неї їдких та отруйних сполук;
- ✓ не можна змащувати рану мазями або засипати порошком, оскільки це перешкоджає її загоєнню;
- ✓ при забрудненні рани обережно видаляють бруд зі шкіри навколо рани (напрямок – від країв рани назовні); очищену ділянку перед накладанням пов'язки можна продезінфікувати йодом (*непринустимо потрапляння йоду в рану!*);
- ✓ не слід торкатись рани руками (навіть чистими) і видаляти з рани згустки крові – це може спричинити сильну кровотечу;
- ✓ видаляти з рани дрібні уламки скла має лікар;
- ✓ після надання першої допомоги, коли кровотечу зупинено, але крововтрати суттєві – потерпілого варто терміново направити до лікаря.

Накладання тиснучої пов'язки

На рану накладають стерильний бинт, марлю або чисту тканину. Під час використання нестерильного перев'язочного матеріалу, на тканину рекомендують крапати трохи настою йоду (чи спирту, для дезінфекції тканини), щоб утворилась пляма розміром більше за рану. Зверху на тканину накладають щільний валик з бинта, вати або будь-якої чистої тканини. Валик туго прибинтовують і за необхідності продовжують тиснути на нього рукою. Кінцівку з кровотечею слід підняти вище тіла (якщо це можливо). При правильному положенні тиснучої пов'язки кровотеча припиняється і пов'язка не промокає.

Зупинка кровотечі з кінцівки згинанням у суглобах

Для зупинки кровотечі потрібно максимально зігнути кінцівку в суглобі, що знаходиться вище рани.

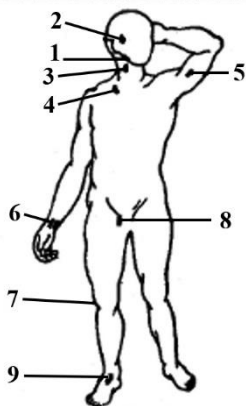
Накладання джгута або закрутки

При сильних кровотечах (артеріальних), які не зупиняються іншими шляхами потрібно накладати джгут.

Джгут накладають лише у крайніх випадках (кров фонтанує), бо він часто викликає незворотні пошкодження тканин.

Проте варто пам'ятати, що *важка кровотеча* може призвести до *летального* результату за 3–5 хв.

Якщо немає можливості швидко накласти джгут, то для тимчасової зупинки кровотечі слід надавити пальцями на судину вище рани (рис. 3.4).



Кровотечу зупиняють:

- ✓ з нижньої частини обличчя – притисканням щелепної артерії до краю нижньої щелепи (1);
- ✓ на скроні та лобі – притисканням скроневої артерії спереду козелка вуха (2);
- ✓ на голові та шиї – притисканням сонної артерії до шийних хребців (3);

Рис. 3.4. *Схема тимчасової зупинки кровотечі притисканням артерій*

- ✓ на *пахві* та *плечі* – притисканням підключичної артерії до кістки у підключичній западині (4);
- ✓ на *передпліччі* – притисканням плечової артерії посередині плеча з внутрішнього боку (5);
- ✓ на *кисті* та *пальцях* рук – притисканням двох артерій (променевої та ліктьової) до нижньої третини передпліччя біля кисті (6);
- ✓ з *гомілки* – притисканням підколінної артерії (7),
- ✓ на *стегні* – притисканням стегнової артерії до кісток тазу (8);
- ✓ на *стопі* – притисканням артерії на тильній частині стопи (9).

Замість джгута можна взяти звичайний м'який гумовий шланг. На місце накладання джгута (вище рани на 5–7 см), щоб не пошкодити шкіру, необхідно попередньо покласти цупку тканину або обмотати кінцівку декількома шарами бинта. Можна накладати джгут зверху рукава чи штанів. Кінцівку обмотують декілька разів попередньо розтягненим джгутом. Витки мають накладатись щільно без проміжків. Перший виток намотують не дуже туго, кожний наступний – усе з більшим натягом. Накладання витків продовжують тільки до зупинки кровотечі, після чого зав'язують джгут. *Показник якісно накладеного джгута: відсутність пульсу на кінцівці або зупинка кровотечі.* Не варто занадто натягувати джгут, оскільки при цьому можуть постраждати нервові волокна.

Максимальний час накладення джгута в теплу пору року – 1–1,5 год (максимум – 2 год), у холодну – 30–40 хв (максимум – 1 год). Перевищення рекомендованого часового проміжку може призвести до некрозу тканин кінцівки. Після накладення джгута необхідно якомога швидше доправити потерпілого до найближчого медичного закладу.

Якщо джгут спричиняє сильний біль, можна тимчасово послабити його або зняти. Перед цим треба притиснути пальцями судину, по якій кров іде до рани. Послаблюють джгут дуже обережно та повільно.

За відсутності джгута можна зробити *закрутку* з м'якої тканини, що не розтягується (бинт, рушник, краватка, пасок та ін.).

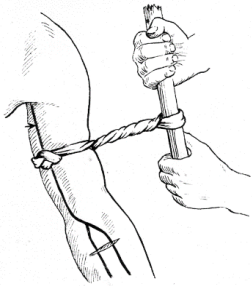


Рис. 3.5. *Схема накладання закрутки*

Міцну петлю (діаметр у 1,5–2 рази більший за діаметр кінцівки) одягають вузлом вверху вище рани на 5–7 см. Шкіру, як і при накладенні джгута, захищають тканиною. У вузол або під нього вставити коротку паличку або щось подібне, за допомогою чого закрутити тканину. Після припинення кровотечі, закріплюють паличку, щоб вона не розкручувалась, і закривають рану асептичною пов'язкою (рис. 3.5).

Обов'язково треба вказати точний час накладення закрутки або джгута, наприклад, покласти записку під них або, краще, написати маркером чи ручкою прямо на відкритих ділянках шкіри пораненого (часто – на лобі).

Алгоритм дії при різних кровотечах:

- ✓ Крові *мало* ⇒ небезпека інфікування ⇒ промити рану ⇒ накласти пов'язку.
- ✓ Крові *багато* ⇒ небезпека кровотечі ⇒ закрити рану ⇒ тиснути пов'язку.
- ✓ Кров *фонтанує* ⇒ швидка крововтрата ⇒ затиснути артерію ⇒ накласти джгут.

Варто пам'ятати, що надавати допомогу при кровотечах бажано з дотриманням гігієнічних норм – у *гумових рукавичках*, як для запобігання інфікування рани потерпілого, так і для самозахисту (інфекційні хвороби й ін.).

3.6. Гострі отруєння

Багато сполук, що використовуються в лабораторії мають певну токсичну дію. Речовини можуть потрапляти до організму в будь-якому агрегатному стані: газо- чи пароподібному, рідкому чи кристалічному, у вигляді аерозолів або з їжею (тому в лабораторії заборонено вживати їжу!).

Отже, під час роботи в хімічній лабораторії *перед виконанням* лабораторних завдань обов'язково треба уважно *вивчити* основні *фізико-хімічні й токсичні* властивості сполук із якими доведеться працювати, а також чітко дотримуватися заходів безпеки.

Роботи з токсичними речовинами й такими, що мають неприємний запах треба проводити лише у витяжні шафі, у захисних рукавичках, за необхідності в окулярах, захисному фартуху та протигазі.

Категорично заборонено пробувати будь-які хімічні речовини на смак!

За наявності перших симптомів отруєння слід обов'язково поставити до відома викладача або інженера лабораторії. Незалежно від ступеня важкості отруєння та стану потерпілого необхідно *викликати лікаря* (у крайніх випадках – викликати швидку допомогу). *Самолікування у випадку отруєння хімічними речовинами неприпустимо*. Засоби першої допомоги у випадках найпоширеніших отруєнь див. у табл. 3.1.

При *гострих отруєннях* насамперед *необхідно*:

- ✓ вивести / винести потерпілого із зони отруєння, видалити отруту зі шкіри або слизових оболонок, зняти забруднений одяг;
- ✓ у разі порушення роботи серця чи дихання робити масаж серця та штучне дихання. *Виключення*: штучне дихання *не можна* проводити у випадках, коли пошкоджені тканини легень (наприклад, при отруєнні фосгеном чи хлором);
- ✓ виведення отрути з організму (промивання шлунка, блювотні засоби, адсорбенти). *Виключення*: викликати блювоту *не можна* при отруєнні сполуками, що припалюють слизові оболонки (*кислоти, луги*) або у випадку *непритомного* стану;

- ✓ застосування відповідних протиотрут і медпрепаратів, які поліпшують захисні функції організму.

Для уточнення правильності наданої допомоги варто звернутися до спеціальної літератури (див. перелік літератури).

Таблиця 3.1

Засоби першої допомоги за різних отруєнь

Сполуки, що можуть спричинити отруєння	Антидоти*
Азотної кислоти пари (оксиди азоту)	Забезпечити абсолютний спокій, навіть за помірною отруєння. Вдихати кисень.
Алкалоїди (крім групи морфіну)	Одну-дві столові ложки активованого вугілля розмішати у склянці води – дати випити, викликати блювоту.
Алкалоїди групи морфіну	Бромкамфора (0,5 г) або кордіамін (діетиламід нікотинової кислоти) (30 крапель), міцний чай або кава. За необхідності – штучне дихання, давати вдихати кисень.
Альдегіди	Випити склянку 0,2 %-го розчину аміаку, а через декілька хвилин – склянку молока.
Аміак (із балона)	Чисте повітря, спокій. У разі знепритомнення – штучне дихання.
Аміаку розчин	Пити дуже розведений розчин оцтової кислоти або лимонний сік. Викликати блювоту; дати олію (1–2 столові ложки), молоко або яєчний білок.
Ацетон, формалін, метиловий та аміловий спирти, анілін	При отруєнні через стравохід – викликати блювоту, потім дати молоко й білок курячого яйця.
Ацетону пари	Чисте повітря. У разі знепритомнення – штучне дихання.

Барію розчинні солі	Викликати блювоту. Дати проносне. Сульфат магнію або натрію.
Бензол	При отруєнні через стравохід – викликати блювоту, дати проносне, у разі знепритомнення – штучне дихання, дати вдихати кисень, дати каву.
Бензолу пари	Свіже повітря (уникати охолодження), спокій, вдихати кисень.
Брому пари	При легкому отруєнні – вдихати 3–5 %-ву газоповітряну суміш, що містить аміак. Промивати очі, рот і ніс 5 %-м розчином бікарбонату натрію або розведеним етанолом. Вдихати пари етанолу. При сильному отруєнні – свіже повітря (лежачи), спокій, вдихання кисню.
Діоксан	Чисте повітря, спокій, тепло. Промивання очей і горла 2 %-м розчином борної кислоти.
Діоксид сірки	Промивати ніс та полоскати ротову порожнину 2 %-м розчином гідрокарбонату натрію. Спокій.
Йод (твердий)	Викликати блювоту, дати 1 %-й розчин тіосульфату натрію, крохмальний клейстер, молоко.
Йоду пари	Вдихати водяну пару з домішкою аміаку, очі промити 1 %-м розчином тіосульфату натрію.
Метиловий спирт	Енергійне промивання шлунку 2 %-м розчином харчової соди або перманганату. Спокій, тепло. Вдихання кисню. Пити багато содового розчину (3 %-й розчин соди) по 4–5 склянок на добу. <i>Пам'ятати (!): потрапляння в організм людини 10 мл метанолу може призвести до важкого отруєння, до сліпоти; попадання 25–30 мл метанолу призводить до смертельного випадку.</i>
Миш'як або сурма	Викликати блювоту, дати проносне (сульфат магнію), потім у 300 мл води розчинити 100 г сульфату заліза, додати 20 г оксиду магнію, розтертого у 300 мл води, суміш сильно збовтувати й давати потерпілому по одній чайній ложці кожні 10–15 хв.

Мінеральні кислоти	При отруєнні через стравохід – полоскати рот водою та 5 %-м розчином гідрокарбонату натрію; дати молоко та суспензію оксиду магнію (10 г оксиду магнію у 150 мл води), або вапняну воду й олію, або рідке борошняне тісто.
Нітросполуки	Викликати блювоту, дати проносне. Неприпустимо давати спирт, жири або олії.
Оксид карбону, ацетилен, світильний газ**	Свіже повітря, не допускати охолодження тіла, дати вдихати кисень, спокій. За необхідності – штучне дихання.
Олова сполуки	Викликати блювоту. Дати проносне (сульфат магнію). Випити суспензію оксиду магнію у воді (10 г у 150 мл води), олію.
Перманганати	Дати води, викликати блювоту; дати молоко, яєчний білок або крохмальний клейстер.
Піридин	Давати пити багато! чай або каву, за необхідності – штучне дихання.
Ртуті пари	Випити яєчний білок, касторову олію.
Свинцю сполуки	Випити велику кількість 10 %-го розчину сульфату магнію (як мінімум склянку).
Сірководень	Чисте повітря, кисень. За необхідності – штучне дихання.
Сірковуглець	Чисте повітря, спокій. За необхідності – штучне дихання.
Сполуки з наркотичною дією: діетиловий етер, хлороформ, спирти, снодійні й ін.	30 крапель кордіаміну, міцний чай або кава. За необхідності – штучне дихання.
Срібла сполуки	Дати велику кількість 10 %-го розчину хлориду натрію (як мінімум склянку).
Сульфурил- та тіонілхлориди	Свіже повітря.

Фенол	У разі отруєння через стравохід викликати блювоту. Дати вапняну воду або суспензію оксиду магнію (15 г оксиду магнію на 100 мл води; вжити 500 мл такої суміші – по одній столовій ложці кожні 5 хв) або розведений розчин KMnO_4 (1 : 4000). У важких випадках вжити 100 мл 5 %-го розчину тіосульфату натрію і вдихати кисень.
Фенолу пари	Чисте повітря, спокій.
Фосген	Вивести потерпілого із забрудненої зони (протигаз забезпечує захист від фосгену впродовж 15–20 хв). Забезпечити спокій і тепло. Вдихання кисню та розведеного розчину аміаку.
Фосфор	Дати 200 мл 0,2 %-ого розчину сульфату міді (II). Не давати жири або олії, молоко.
Фторид натрію	Дати вапняну воду або 2 %-й розчин хлористого кальцію (2–3 ковтки).
Фтористоводневої (плавикової) кислоти пари	Вдихати аміак, чисте повітря, спокій.
Хлор	Спокій навіть за помірного отруєння, вдихати кисень. Давати пити 2 %-й розчин соди (харчової), тепле молоко із содою, кава.
Цинку сполуки	Викликати блювоту, дати сире яйце в молоці.
Ціанідна (синильна) кислота та її солі	У разі отруєння через стравохід дати 1 %-й розчин тіосульфату натрію або 2 %-й розчин KMnO_4 . Викликати блювоту, дати вдихати з вати 10 крапель амілнітриту (точніше, ізоамілнітриту). За необхідності – штучне дихання, активне вдихання кисню.
Щавлева кислота	Викликати блювоту, дати вапняну воду, касторову олію.

* *Антидоти* або *протиотрути* – засоби для лікування отруєнь. Антидоти знешкоджують отруту шляхом хімічної реакції та виводять її з організму. Одні протиотрути, які запобігають надходженню отрути в кров або уповільнюють цей процес, діють у шлунку, на шкірі, слизових оболонках очей, носа, ротової порожнини (наприклад, активоване вугілля, сода тощо). Інші протиотрути, які усувають токсичні реакції після надходження отрути в організм, вводяться

всередину, підшкірно, внутрішньом'язово, внутрішньовенно, внутрішньосерцево (наприклад, атропін, дипіроксим, унітіол тощо).

**** Світильний газ** (міський газ, кам'яновугільний газ) – суміш водню (50 %), метану (34 %), окису вуглецю (8 %) та інших горючих газів, що отримується при піролізі кам'яного вугілля або нафти.

Детальніше з фізико-хімічними властивостями, профілем токсичної дії та симптомами отруєння різними сполуками можна ознайомитись у спеціальній літературі (див. перелік літератури).

Таблиця 3.2

Токсичні газоподібні сполуки

Сполука	Властивості	Токсична дія. Симптоми отруєння	Перша допомога
Аміак	Безбарвний газ із характерним різким запахом. Розчинний у воді, обмежено розчинний у спирті. Т кип. = -33,4 °С	Запалення слизових оболонок очей, задишка, печіння в горлі, ускладнене ковтання, блювота, напади задухи. Запалення легень.	Свіже повітря, потім повітря з парами гарячої води. Вдихання парів оцтової кислоти, промивання очей водою. Штучне дихання (у важких випадках). Протипоказані хімічні протиотрути.
Галогеноводні	Безбарвні гази з різким запахом. Розчинні у воді.	Подразнення органів дихання.	Свіже повітря, спокій. Вдихання парів аміаку з його розведеного водного розчину.
Оксид азоту(IV) (нітроген(IV) оксид, діоксид азоту) та його димер	Газ червоно-бурого кольору з різким запахом. Водною розкладається. Розчинний в азотній і сірчаній кислотах, хлороформі, сірковуглеці. Т кип. = 21,3 °С.	Подразнення слизових оболонок очей та органів дихання, сухість у горлі, кашель, блювота; можливий набряк легень. Мас прихований період дії.	Дихати чистим киснем, уникати фізичних зусиль. Спокій, тепло (ковдра, теплі компреси). Пити молоко (невеликими порціями) або кожні 10 хв по 2–3 ковтки води, що містить хлороформ (2–3 краплини хлороформу на склянку води). Викликати лікаря.
Діазометан	Газ жовтого кольору. Вибухонебезпечний. Водною розкладається. Розчинний у спирті, ефірі. Т кип. = -23°С.	Напади задухи. Чутливість організму до діазометану з часом збільшується.	Свіже повітря, спокій, тепло. Полоскання ротової порожнини 2 %-м розчином борної кислоти, прийняти кодеїн.

<i>Продовження табл.</i>			
Озон	Безбарвний газ із характерним приємним запахом. Т кип. = – 112 °С.	Блювота, головний біль, носова кровотеча, запалення очей, ускладнене дихання, подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів.	Свіже повітря, спокій, тепло. Вдихання кисню.
Монооксид вуглецю (карбону (II) оксид)	Безбарвний газ, без запаху. Розчинний у водному спирті, воді (20 мл у 100 мл води). Т кип. = –192 °С.	Важкі отруєння, іноді летальні. Запаморочення, головний біль, слабкість, блювота, шум у вухах, судоми, знепритомнення.	Свіже повітря, тепло. Одяг не має заважати вільному диханню. При порушеннях дихання – вдихання чистого кисню або кисню, що містить 5 % CO ₂ . Терміново викликати лікаря.
Діоксид сірки (сульфур(IV) оксид)	Безбарвний газ із різким запахом, що нагадує запах щойно запаленого сірника. Розчинний у сірчаній кислоті, спирті, обмежено – у воді. Т кип. = –10,05 °С.	Сильне подразнення слизових оболонок органів дихання. Кашель, чхання, розлади нюху та смаку.	Свіже повітря, спокій. Промивання носа й ротової порожнини 2 %-м розчином бікарбонату натрію. У важких випадках – вдихання кисню.
Сірководень	Безбарвний газ із характерним запахом тухлих яєць. Розчинний у воді, сірковуглеці, обмежено – у спирті. Т кип. = –61,8 °С.	Запаморочення, головний біль, слабкість, знепритомнення. Тривале вдихання погіршує нюх.	Свіже повітря. У важких випадках – штучне дихання; вдихання кисню, що містить 5–7 % CO ₂ .
Синильна (ціанідна) кислота	Безбарвний газ із запахом гіркою мигдалю. Змішується	Загальне отруєння, можливе – летальне. Посиніння	Випити 1 %-й розчин тіосульфату натрію або розчин метиленового синього або 0,025 %-й розчин

	з водою, спиртом, ефіром. Т кип. = 26 °С.	шкіри, особливо помітно посиніння губ і нігтів.	перманганату калію (по 2–3 ковтки). Викликати блювоту, негайно почати вдихати з вати препарат амільнітрит (це ізоамільнітрит; використовують як судинорозширювальний засіб). У важких випадках, при знепритомненні – штучне дихання, вдихання кисню; медпрепарати, що підтримують серцеву діяльність (камфора, кофеїн). Не припускати охолодження тіла. Негайно викликати лікаря.
<i>Закінчення табл.</i>			
Фосген	Безбарвний газ із задушливим запахом прілого сіна. Водю розкладається. Розчиняється у тетрахлорметані, бензолі. Т кип. = 8,3 °С. Для поглинання фосгену використовують газоподібний або розчинений у воді аміак.	Ураження нижніх дихальних шляхів (бронхи, альвеоли), що призводить до набряку легень. Має прихований період дії; у 15 разів токсичніший, ніж хлор.	Потерпілого негайно вивести із зони зараження (входити у протигазі; забезпечує захист від фосгену впродовж 15–20 хв). Одяг не має заважати вільному диханню. Спокій, вдихання кисню й розведеного розчину аміаку, тепло.
Хлор	Газ жовтувато-зеленого кольору з характерним різким запахом. Розчинний у водному розчині луку, обмежено – у воді. Т кип. = – 34 °С.	Сильне подразнення верхніх дихальних шляхів. Задушливий кашель, спазми, припинення дихання, гострий набряк легень.	Перша допомога як при отруєнні фосгеном: потерпілого негайно вивести із зони зараження. Одяг не має заважати вільному диханню. Спокій, вдихання кисню та розведеного розчину аміаку, тепло.

Таблиця 3.3

Пари рідких і твердих речовин

Сполука	Властивості парів	Токсична дія. Симптоми отруєння	Перша допомога
Акрилонітрил	Безбарвні, розчинні у воді.	Подразнення слизових оболонок дихальних шляхів та очей. Головний біль, слабкість, блювота, свербіж шкіри.	Свіже повітря, тепло. Вдихання аміднітриту (5–8 крапель на вату) впродовж 15–30 с кожні 2–3 хв.
Анілін та його гомологи	Безбарвні, характерний запах. Розчинні у спирті, ефірі, обмежено – у воді.	Сильний головний біль, порушення рівноваги, блювота. Посиніння губ.	Свіже повітря, чистий одяг, холодні обливання, вдихання кисню. Велика кількість молока, кави.
Бензол	Безбарвні, специфічний запах. Розчинні у спирті, ефірі.	Вражають центральну нервову систему, при хронічній дії – кровотворні органи. Блювота, сильна слабкість.	Свіже повітря, спокій, тепло.
Бром	Помаранчево-червоні (червоно-бурі), різкий запах. Розчинні у спирті, ефірі, сірковуглеці, обмежено – у воді.	Вражають слизові оболонки дихальних шляхів та очей.	При легкому отруєнні – вдихати 3–5 %-ву газоповітряну суміш, що містить аміак. Промивати очі, рот і ніс 5 %-м розчином бікарбонату натрію або розведеним етанолом. Вдихати пари етанолу. При сильному отруєнні – свіже повітря (лежачи), спокій, вдихання кисню.

<i>Продовження табл.</i>			
Галогенангідриди карбонових кислот, α -галогенкетони, ефіри α -галоген-карбонових кислот, аліл- і бензилгалогеніди	Безбарвні, специфічний запах.	Подразнення слизових оболонок очей. Лакриматори.	Свіже повітря.
Диметилсульфат	Безбарвні, без запаху. Добре розчинні у спирті, ефірі, нерозчинні – у воді.	Вражають слизові оболонки. Запалення очей, помутніння рогівки.	Свіже повітря. Промивання 5 %-м розчином бікарбонату натрію або 1 %-м розчином аміаку.
Діоксан	Безбарвні. Розчинні у воді, спирті, ефірі.	Подразнення слизових оболонок очей і верхніх дихальних шляхів. Вражають печінку та нирки. Мають кумулятивну дію. Запаморочення, блювота.	Свіже повітря, спокій, тепло. Промивання очей і горла 2 %-м розчином борної кислоти.
Оксиран (етиленоксид)	Безбарвні.	Викликають набряк легень.	Свіже повітря.
Параформ	Безбарвні. Різкий, їдкий запах.	Подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів. Спазми. Мають прихований період дії.	Вдихання парів аміаку із його розведеного водного розчину. Молоко.
Піридин	Безбарвні, характерний різкий	Запалення слизових оболонок. Головний біль, запаморочення, ускладнене дихання, блювота.	Свіже повітря. Міцний чай або кава.

	запах квітів горобини. Розчинні в ефірі.		
<i>Закінчення табл.</i>			
Ртуть	Безбарвні, без запаху. Нерозчинні у воді й органічних розчинниках.	Подразнення слизової оболонки шлунково-кишкового тракту, розлад нервової системи. Загальне нездужання, головний біль.	Випити яєчний білок, касторову олію (1 столова ложка).
Сірковуглець	Безбарвні, специфічний запах. Добре розчинні у спирті, ефірі, слабко – у воді. Легкозаймисті.	При легкому отруєнні – відчуття пригніченості та сп'яніння, при сильному – втрата свідомості.	Свіже повітря, спокій. За необхідності – штучне дихання.
Сульфурил- тіонілхлориди	Безбарвні.	Подразнення слизових оболонок.	Свіже повітря

Розділ 4. Пожежна безпека

Пожежі в лабораторіях можуть бути наймовірніше небезпечними. *Пожежа* – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі та просторі, яке завдає матеріальні збитки і створює небезпеку для живих істот і довкілля⁵.

Можливість виникнення пожежі в хімічній лабораторії обумовлена наявністю в них різних горючих речовин і матеріалів, зокрема лабораторних меблів. У лабораторіях поряд з іншими реактивами використовуються та зберігаються речовини, які є вибухо- та вогнебезпечними. Насамперед до них належать легкозаймисті й горючі рідини – речовини, які легко випаровуються та мають низьку температуру спалаху (детальніше див. розд. 10). Робота в лабораторії часто супроводжується виділенням парів і газів, що утворюють із повітрям легкозаймисті та вибухонебезпечні суміші. Багато хімічних реакцій супроводжуються виділенням великої кількості теплоти, що може бути причиною виникнення пожежі. Також, у лабораторії можуть одночасно розміщуватися речовини, що вибухають або спалахують під час контакту з водою, повітрям або з іншими реактивами. Використання газових пальників і різноманітних нагрівальних приладів також збільшує пожежну небезпеку під час роботи в лабораторії.

Несправність електропроводки, електрообладнання або неправильність його експлуатації є не лише джерелом враження електричним струмом, а і причиною виникнення пожежі. Урешті, навіть якщо все лабораторне устаткування в порядку, то пожежа або вибух може трапитися внаслідок недосвідченості співробітників або нехтування правилами техніки безпеки.

На щастя, у навчальних лабораторіях природа й кількість легкозаймистих і горючих речовин досить обмежені, так що перебіг подій за "найгіршим сценарієм" малоімовірний.

⁵ ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.

Водночас, дослідницькі та виробничі хімічні лабораторії, мають більш екзотичні хімічні реактиви та значний набір органічних розчинників. Тому ймовірність пожежі та її наслідки в цих лабораторіях будуть більш значними.

У цьому розділі розглядаються найбільш поширені ситуації, які можуть виникнути в навчальних лабораторіях і пояснюється необхідна довідкова інформація, яка допоможе зрозуміти ризики виникнення пожеж у лабораторіях. Викладачі найбільше зацікавлені в тому, щоб студенти навчилися, коли і як використовувати засоби пожежогасіння в лабораторії. Розуміння природи вогню та видів вогню, які можуть виникнути, збільшить шанси на успіх під час гасіння невеликого вогню (або запобіганню пожежі). Якщо це можливо, студенти повинні взяти участь у будь-якій практичній підготовці, щоб отримати навички використання вогнегасника, оскільки цей досвід є більш реалістичним.

4.1. Основні поняття про процес горіння

Трикутник вогню і Тетраедр вогню

Щоб зрозуміти, як гасити пожежі, які засоби гасіння використовувати, нам потрібно познайомитися із процесом горіння, *Трикутником вогню* та *Тетраедром вогню*.

Горіння – високотемпературна екзотермічна окисно-відновна хімічна реакція за участю палива та окисника, зазвичай атмосферного кисню⁶. Горіння супроводжується виділенням продуктів горіння – газоподібних речовин і диму, а також виділенням теплоти та світлового випромінювання. Виникнення високотемпературного полум'я здатне підтримувати процес горіння.

Упродовж багатьох років вчені вважають, що вогонь складається з трьох компонентів:

- 1) *кисень* або *окисник*;
- 2) *паливо* – горючі речовини;

⁶ ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.

3) *теплота* або *джерело запалювання*.

Отже, для виникнення горіння необхідна наявність горючої речовини, окисника та джерела запалювання. Ці три компоненти утворюють *Трикутник вогню* (рис. 4.1). Ми можемо застосовувати Трикутник вогню для аналізу того, як запобігти пожежі. А саме, при ізоляції одного з компонентів від двох інших процес горіння не розпочнеться.

Трикутник вогню був модифікований у *Тетраedr вогню*, тому що існує четвертий компонент, необхідний для пояснення механізму *гасіння пожежі* (рис. 4.1). Четвертий компонент – це *ланцюгова хімічна реакція*. Видаляючи будь-який із цих чотирьох компонентів, ми можемо припинити процес горіння та погасити пожежу.

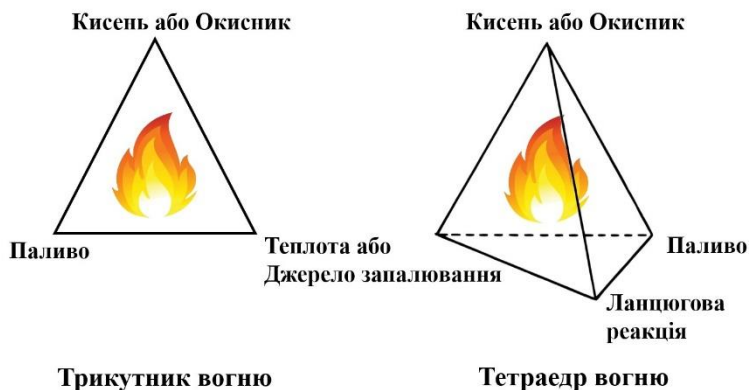


Рис. 4.1. Трикутник і тетраedr вогню

Давайте розглянемо кожную частину тетраедра.

Паливо – очевидний компонент вогню. Найпоширенішими видами палива є матеріали *класу А*, такі як папір, деревина, тканина, пластик або рідини *класу В*, такі як бензин або органічні розчинники, що використовуються в лабораторіях. Видалити паливо зазвичай нелегко, проте обмежити його кількість цілком можливо. Наприклад, швидко і вчасно прибрати ємності з органічними розчинниками від зони вогню.

Усі пожежі відбуваються за участі *окисників* (вони окиснюють або спалюють паливо), і це майже завжди атмосферний кисень, O_2 . Також окисниками можуть бути фтор (F_2), хлор (Cl_2), бром (Br_2), нітратна кислота (HNO_3), вищі оксиди хлору, хрому, марганцю й ін. Якщо обмежити доступ повітря до вогню або видалити його із зони горіння – вогонь погасне. Іноді це легко. Якщо загорівся органічний розчинник у невеликому стакані, то вогонь можна швидко погасити, накривши верх стакану негорючою "кришкою" (інший стакан, чашка Петрі, тощо). Решта повітря у стакані швидко вичерпається і полум'я погасне. Аналогічно, палаючий шматок паперу погасне, якщо його накрити зверху книгою. Книга обмежить доступ повітря до області горіння. Або традиційна методика – "зупинись, падай і перекочуйся" допомагає погасити горіння одягу, тому що "перекочування" по підлозі миттєво обмежує доступ кисню. Нарешті, якщо ми зможемо "вкрити" палаючу рідину порошком або іншою речовиною, яка перекриває доступ атмосферного кисню до рідини – вогонь погасне.

Для початку та підтримки горіння потрібне *джерело запалювання*, зазвичай це теплота, відкритий вогонь або електрична іскра. Поглинання теплоти здійснюється за допомогою води, яка є хорошим охолоджувальним агентом. І оскільки паливо й атмосферний кисень є загальнодоступними, більшість заходів протипожежної безпеки спрямовані на запобігання виникненню пожежі від джерела запалювання.

Ланцюгова реакція є найменш очевидним компонентом Тетраедру вогню, оскільки цей процес відбувається на молекулярному рівні, який ми безпосередньо не спостерігаємо. Механізм горіння хімічних речовин складний, але ми знаємо, що це ланцюгова реакція. Деякі вогнегасники працюють не шляхом видалення палива, кисню або теплоти, а блокують саме ланцюгову реакцію зупиняючи процес горіння.

Отже, суть розуміння компонентів Тетраедру вогню полягає в тому, що видалення будь-якого з компонентів зупиняє пожежу.

Як горить вогонь? Ви здивуєтесь, але рідини та тверді речовини не горять! Це твердження, здається, суперечить

загальному досвіду спостереження за горінням паперу, деревини або бензину, але насправді на молекулярному рівні тверду речовину або рідину потрібно випарити, перш ніж вона горітиме. Коли сірники запалюють папір або легкозаймисту рідину, теплота від сірника спершу піролізує (розкладає) матеріал так, що виробляється деяка кількість пари. Теплота також розпочинає ланцюговою хімічну реакцію легкозаймистої пари з киснем, у свою чергу екзотерма реакції (виділення теплоти) забезпечує більше теплоти для піролізу більшої кількості легкозаймистої рідини або твердої речовини, і вогонь продовжує горіти.

Чому це важливо? Миттєве охолодження палаючої рідини усуває можливість її швидкого випаровування, що може зупинити процес горіння. Це поширений спосіб гасіння пожеж класу В, як ми побачимо нижче. Те саме стосується і твердих речовин, хоча іноді тверді речовини бувають досить гарячі (зберігають достатньо залишкового тепла за рахунок власної теплоємності), тому миттєве охолодження не допомагає.

Піроліз та вогонь. Піроліз – це термічний розклад твердих матеріалів за підвищених температур. Термін піроліз походить від грецького "піро" – вогонь і "лізис" – розчинення. Якщо надати достатню кількість теплоти поверхні матеріалу, відбувається руйнування як міжмолекулярних так і внутрішньомолекулярних зв'язків, утворюються низькомолекулярні компоненти або сполуки, які є летючі і зазвичай легкозаймисті. За підвищеної температури ці продукти розкладу можуть горіти в повітрі. Коли ми бачимо горіння твердого матеріалу, це насправді горить не тверда речовина, а гази та летючі сполуки, які утворюються під час піролізу.

У деяких будинках існує невідповідний проміжок між димоходами або металевими витяжними системами від камінів, печей або інших нагрівальних приладів і прилеглими дерев'яними конструкціями. Теплота, що випромінюється, може піролізувати деревину і згодом утворюється достатня кількість летючих легкозаймистих речовин для початку загоряння. Це є причиною деяких домашніх пожеж. Насправді, горіння деревини й рослинності відбувається внаслідок піролізу.

Піроліз є основним методом переробки в хімічній промисловості. Нафта піддається процесам піролізу, відомим як крекінг і каталітичний крекінг, у процесі виробництва палива, наприклад, бензину. Піроліз здавна використовується для

виготовлення деревного вугілля з деревини. Також, процеси піролізу відбуваються у продуктах під час їхнього приготування, пам'ятайте, золотисто-коричнева хлібна скоринка є результатом хімії піролізу.

4.2. Класифікація процесу горіння та горючих речовин

Основні класифікації процесу горіння:

- ✓ за швидкістю розповсюдження полум'я – *дефлаграція* та *детонація*,
- ✓ за походженням – *спалах*, *займання* та *самозаймання*,
- ✓ за агрегатним станом окисника й горючої речовини – *гомогенне* та *гетерогенне*.

Більшість пожеж є гетерогенним горінням дефлаграційного характеру⁷.

Дефлаграція – повільне горіння, що поширюється з дозвуковою швидкістю, зазвичай порядку декільком метрів за секунду та підтримується за рахунок теплообміну.

Детонація – процес горіння, що поширюється з надзвуковою швидкістю більше 2000 м/с і супроводжується ударною хвилею. Поширення детонаційного горіння (детонаційна хвиля) відбувається за рахунок енергії ударної хвилі, яка нагріває горючі речовини до температури самозаймання внаслідок сильного стиснення середовища. Самозаймання речовини знову генерує ударну хвилю, підтримуючи її подальше поширення. Отже, *детонаційна хвиля* – це два взаємопов'язані процеси, *ударна хвиля* та *хімічна реакція* горіння, що поширюється з надзвуковою швидкістю в газах, рідинах і твердих тілах.

Спалах – швидке полуменеве горіння від зовнішнього джерела запалювання, яке не супроводжується появою ударної хвилі та не переходить у стійке горіння.

Температура спалаху ($t_{\text{сп}}$) – найменша температура горючої речовини, за якій над її поверхнею утворюються пари, що здатні

⁷ ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація.

спалахнути в повітрі від джерела запалювання; але швидкість утворення пари недостатня для підтримання стійкого горіння.

Займання (загоряння) – початок горіння речовини під впливом джерела запалювання, що триває після його видалення.

Температура займання – найменша температура речовини, за якої виділяються горючі пари й гази з достатньою швидкістю для того, щоб під впливом джерела запалювання виникало стійке горіння. Температура займання зазвичай приблизно на 10 °C вища за температуру спалаху.

Самозаймання – різке збільшення швидкості екзотермічних реакцій, які приводять до виникнення горіння речовини за відсутності джерела запалювання.

Температура самозаймання – найнижча температура речовини, за якої відбувається самозаймання речовини.

За горючістю речовини та матеріали поділяються на три групи:

- ✓ *негорючі*, які не здатні горіти на повітрі;
- ✓ *важкогорючі*, які можуть займатися на повітрі від джерела запалювання, однак після його вилучення не здатні самостійно горіти;
- ✓ *горючі*, які здатні самозайматись, а також займатись від джерела запалювання та самостійно горіти після його вилучення.

Горючі рідини класифікують за температурою спалаху:

- ✓ *легкозаймисті рідини* (ЛЗР), рідини, $t_{\text{сп}}$ менше 61 °C у закритому тиглі або $t_{\text{сп}}$ 66 °C у відкритому тиглі (бензен, ацетон, етиловий спирт);
- ✓ *горючі рідини* (ГР) – рідини, $t_{\text{сп}} > 61$ °C у закритому тиглі або $t_{\text{сп}} > 66$ °C у відкритому тиглі (мінеральні мастила, мазут) та менше 93 °C (GHS).

ЛЗР у свою чергу поділяються на три розряди:

- ✓ *I – особливо небезпечні ЛЗР* із температурою спалаху $t_{\text{сп}} -18$ °C в закритому тиглі; $t_{\text{сп}} -13$ °C у відкритому тиглі;

- ✓ II – постійно небезпечні ЛЗР: $-18^{\circ}\text{C} < t_{\text{сн}} < +23^{\circ}\text{C}$ у закритому тиглі, $-13^{\circ}\text{C} < t_{\text{сн}} < +27^{\circ}\text{C}$ у відкритому тиглі;
- ✓ III – ЛЗР небезпечні за підвищеної температури повітря: $23^{\circ}\text{C} < t_{\text{сн}} < 61^{\circ}\text{C}$ у закритому тиглі, $27^{\circ}\text{C} < t_{\text{сн}} < 66^{\circ}\text{C}$ у відкритому тиглі.

Нижня (НКМ, англ. LEL) та верхня (ВКМ, англ. UEL) концентраційні межі поширення полум'я – це мінімальна та максимальна об'ємна (масова) частка горючої речовини в суміші з окиснювачем (повітрям), за яких можливе спалахування суміші від джерела запалювання з подальшим поширенням полум'я по суміші на будь-яку відстань від джерела запалювання. НКМ і ВКМ виражаються в об'ємних відсотках (об. %) і є характеристиками газів і горючих рідин (табл. 4.1).

Вибухонебезпека горючих газів, парів і пилу тим більша, чим меншою є НКМ і чим більший діапазон між НКМ і ВКМ.

Нижня (НТМ) і верхня (ВТМ) температурні межі поширення полум'я – мінімальна й максимальна температури речовини, за яких її насичені пари утворюють у повітрі концентрації рівні відповідно НКМ і ВКМ (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Концентраційні межі поширення полум'я речовин⁸

Речовина	НКМ, об%	ВКМ, об%
Водень	4	75
Окис вуглецю	12,5	74
Ацетон	2	13
Бензен	1,4	7,7
Толуол	1,3	6,7
Етер	2	48
Гексан	1,1	7,5
Ацетилен	2,5	100
Метан	4,4	17

⁸ Про межі горючості див. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Flammability_limit

Для зниження значень НКМ і ВКМ у займисту речовину додають *флегматизатор*. Флегматизатор – речовина у будь-якому агрегатному стані, яку застосовують як домішку до вибухових речовин для зниження чутливості до зовнішніх впливів (удару, тертя, іскри тощо). Для гасіння пожежі в якості флегматизаторів використовують азот, вуглекислий газ, аргон, водяну пару або водяний аерозоль.

4.3. Класифікація пожеж

Пожежі, що найчастіше трапляються в лабораторіях, зазвичай стосуються "звичайних горючих матеріалів" або "легкозаймистих речовин". Ці фрази наштовхують нас на знайомство з основними класами пожеж. Залежно від природи й особливостей горіння різних горючих речовин, пожежі поділяються на відповідні класи, що наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Класи пожеж

Символ	Характеристики горючих речовин	Клас пожежі	
		ЄС	США
	Тверді матеріали	A	A
	Рідини	B	B
	Гази	C	B
	Метали	D	D
	Електроустановки під напругою	(E)	C
	Кулінарні олії та жири	F	K

* Не класифіковано, попередньо клас E.

Клас пожежі вказує на метод гасіння, тип вогнегасних речовин і вогнегасників, що застосовуються. Символи, якими позначаються класи пожеж, наносяться на корпуси вогнегасників. Водночас, літера класу пожежі може відрізнитися залежно від регіону світу, наприклад, ЄС⁹ і США. В Україні використовують класифікацію пожеж відповідно до європейських стандартів, яких ми надалі дотримуватимемося.

⁹ ДСТУ EN 2:2014 Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT).

Деякі види вогнегасників можуть використовуватися на більш ніж на одному класі вогню. Інші мають попередження, коли оператору було б небезпечно використовувати певний агент пожежогасіння.

Давайте докладніше зупинимось на огляді класів пожеж і на тому, як найпоширеніший вогнегасний агент, вода, взаємодіє з ними.

4.3.1. Пожежі класу А: тверді матеріали

Більшість пожеж, які нам трапляються в не лабораторних ситуаціях, є пожежі класу "А". Пожежі класу А – горіння твердих матеріалів, переважно органічного походження, що зустрічаються в повсякденному житті: деревина, текстиль, папір, пластик, побутова техніка, автомобілі, сміттєзвалища, а також лісові пожежі. Такі пожежі легко гасять за допомогою води та вогнегасних агентів на водній основі, таких як піна, аерозоль, водні розчини солей. Більшість лабораторій не використовують вогнегасників на водній основі, тому що пожежі за участі хімічних речовин та електротехніки необхідно гасити іншими агентами. Для гасіння пожеж класу А в хімічній лабораторії найкраще використовувати порошкові вогнегасники класу ABC(E).

4.3.2. Пожежі класу В: рідини

Пожежі класу В – горіння легкозаймистих і горючих рідин, а також твердих речовин, які плавляться (нафтопродукти, спирти, органічні розчинники з температурою спалаху нижче 100 °C). Бензин, що горить усередині автомобільного двигуна – контрольований вогонь класу В. Багато органічних розчинників, що використовуються в хімічних лабораторіях, спричинюють пожежі класу В.

Кількість легкозаймистих органічних рідин і розчинників, що використовуються в дослідницьких і виробничих лабораторіях, часто, значно перевищує кількість, що використовується в навчальних лабораторіях. Отже, імовірність виникнення пожежі класу В у цих лабораторіях є вищою.

По-перше, і найголовніше, вода не є корисним вогнегасним агентом для пожеж класу В. Більшість органічних розчинників

мають меншу густину, ніж вода, і вони, зазвичай не змішуються з водою. Вода не "вкриває" вогонь і не "розчиняє" органічну рідину до негорючого стану. Отже, сила потоку води з переносного вогнегасника або з пожежного рукава спричинює здебільшого поширення розчинника та вогню. З цієї причини вода не повинна використовуватися для гасіння пожеж за участі органічних розчинників, крім того, вам слід уникати спокуси вилити склянку води на вогонь класу В. Для пожеж класу В потрібен інший тип вогнегасної речовини.

Рідини, що горять погасити нелегко, вони у 99 % повторно спалахують. Витримуйте безпечну дистанцію до 2–3 м. Будьте готові знову почати гасіння. Пожежі класу В у хімічній лабораторії найкраще гасити *порошковими* або *вуглекислотними* вогнегасниками, і хімічні лабораторії потрібно такими обладнати. Порошкові вогнегасники створюють справжній хаос у процесі розрядження, але прибирання порошкоподібної маси краще, ніж спостерігати, як лабораторія згорає до тла й ризикувати людським життям. Поза хімічною лабораторією також використовують *водопінні* вогнегасники.

Перш ніж працювати в будь-якій лабораторії наперед ознайомтеся, де розміщуються вогнегасники та якого вони класу.

4.3.3. Пожежі класу С: газ

Пожежі класу С відбуваються за участі горючих газів (водень, ацетилен, метан, пропан, бутан). Застосовують *порошкові* вогнегасники. Потік вогнегасного порошку спрямовують спочатку в основу газового факелу, потім поступово переміщують у напрямку поширення вогню. Основне завдання – збити полум'я та перекрити витік газу або забезпечити його відведення в атмосферу (відчинити вікна). У пожежах класу С завжди є *небезпека вибуху*.

4.3.4. Пожежі класу (Е): електроустановки під напругою

Натепер у європейських країнах пожежі за участі електрообладнання під напругою (нагрівальні елементи, комп'ютери, спектрометри) припинили відносити до окремого класу, оскільки після відімкнення напруги, пожежа може належати до будь-якого класу. На вогнегасниках позначають

лише можливість їхнього застосування на електрообладнанні під напругою. Однак, для зручності ми продовжимо використовувати попередню класифікацію – клас (E).

Пожежі за участі електрообладнання під напругою неминуче стають пожежами класу А. Зазвичай, від загоряння електрики пожежа лише розпочинається, а потім продовжують горіти матеріали класу А або В. Навіть якщо пожежа здається класом А, але підозрюють наявність увімкненої напруги – не можна використовувати воду для її гасіння. Оскільки вода проводить електричний струм, тому струмінь води або розлита на підлозі вода становить небезпеку ураження електричним струмом. Подібним чином, для пожежників існує загроза ризику ураження електричним струмом під час використання пожежних рукавів із водою поблизу високовольтних ліній.

Найкращі вогнегасники під час пожежі класу (E) у лабораторії – це *порошкові, вуглекислотні та хладонові вогнегасники*. Безумовно, *порошковий* вогнегасник класу ABC(E) працює найефективніше, оскільки дозволяє обробити частину вогню класу А, а також вогнебезпечні рідини класу В поблизу вогню. Водночас, на коштовному обладнанні варто використовувати *вуглекислотні та хладонові вогнегасники*.

Якщо ви не впевнені в тому, що пожежа за участі електрики, краще припустити таку можливість і застосовувати відповідні засоби гасіння, зазвичай це *вуглекислотний або порошковий* вогнегасники.

4.3.5. Пожежі класу D: метали

Пожежі класу D – горіння металів, їхніх гідридів та органометалічних сполук. Наприклад, активні метали (літій, натрій, калій, магній), алюміній, титан, цирконій, уран, залізо та інші; а також гідриди натрію та калію, алюмогідрид літію, реагенти Гріньяра (Mg-R-X). Особливо зростає небезпека, коли метал подрібнений у формі порошку чи стружки.

Для всіх пожеж за участі активних металів вода є найгіршим варіантом з вибору вогнегасного агенту. Вода прискорює пожежу, оскільки активні метали реагують із водою, виділяючи водень і теплоту. Ніколи не використовуйте воду для гасіння пожежі за участі активних металів. Ви маєте знати, що робота в

лабораторії з металічним натрієм або гідридами металів виконується в умовах повної відсутності води. Варто зазначити, що деякі активні метали та гідриди металів використовують для видалення залишкових кількостей води з органічних розчинників.

Пожежі класу D є дуже небезпечними й зазвичай включають легкозаймисті органічні розчинники. Отже, вони часто є вогнем класу B і D. На жаль, не існує ідеального універсального вогнегасника класу D. Для конкретних металів вказані різні комерційні вогнегасники, але вони можуть бути відсутніми в лабораторії. Основна дія вогнегасника, часто на основі порошкового графіту або хлориду натрію, полягає в тому, щоб вилучити кисень і воду від металу або металічної сполуки та поглинути теплоту. Хоч це й не ідеально, але відро звичайного піску, зазвичай є прийнятним вогнегасним агентом.

Порошкові вогнегасники класу D із спеціальним порошком покликані боротися з пожежами за участі металів, також за необхідності використовують вогнегасники класу B для гасіння палаючого розчинника. У хімічних лабораторіях найчастіше можна зустріти натрій, калій і магній. Особливо складні пожежі за участі літію (методи їхнього гасіння наведені в розділі 11).

4.3.6. Пожежі класу F: кулінарні олії та жири

Пожежі класу F – горіння кулінарних олій і жирів, які можуть виникати на кухні. Рідини класу F мають значно більшу температуру спалаху, ніж легкозаймисті та горючі рідини класу B, що й зумовило їхнє відокремлення в окремий клас. У хімічній лабораторії до пожеж цього класу належить горіння *масляних бань*.

Для гасіння пожеж класу F рекомендують застосовувати рідинний хімічний (Wet Chemical) вогнегасник, водяний аерозольний (Water Mist) вогнегасник, порошковий вогнегасник BC(E) і пожежне покривало.

В умовах хімічної лабораторії найбільш доречні дії – це накрити палаючу масляну баню негорючим матеріалом (металічна кришка від цієї ж бані або інша, керамічна плитка відповідного розміру, пожежне покривало). Основна мета – обмежити доступ повітря, щоб зупинити горіння. Одночасно

можна допомагати вуглекислотним вогнегасником, щоб збити полум'я.

Застосування лише вуглекислотного вогнегасника може виявитися не ефективним, оскільки масляна баня здатна повторно зайнятися від високої температури. *Не можна використовувати воду, пісок, рідкий азот* – унаслідок чого відбудеться сильне розбризкування гарячого палаючого масла, що спричинить поширення вогню.

4.4. Методи й засоби пожежогасіння

➤ *Методи пожежогасіння*

Для припинення пожежі необхідно вилучити хоча б одну з компонентів Тетраедру вогню. На цьому ґрунтуються практичні методи *припинення процесу горіння*:

1. *Охолодження* зони горіння чи горючої речовини нижче температури запалення.
2. *Ізоляція* горючих речовин від зони горіння й доступу окисника (атмосферного кисню).
3. *Розбавлення* реагуючих речовин.
4. *Інгібування* хімічної реакції

Перші три методи в практиці пожежогасіння є основними. Наведені підходи реалізуються шляхом використання відповідних вогнегасних засобів і речовин, які поділяються на чотири групи:

- ✓ *охолоджувальної дії* (вода, CO_2);
- ✓ *ізолювальної дії* (піни, пісок, вогнегасні порошки);
- ✓ *розбавляючої дії* (інертні гази, CO_2);
- ✓ *інгібувальної дії* (вогнегасні порошки, галогеналкани).

У практиці під час гасіння пожеж частіше використовують поєднання кількох методів. Однак основним є й може бути лише один, а всі інші сприяють досягненню ліквідації горіння. Наприклад: вода діє як охолоджувальний агент, поглинаючи теплоту перетворюється на пару, яка розбавляє реагуючі речовини й ізолює зону горіння від доступу атмосферного кисню.

➤ *Первинні засоби пожежогасіння в хімічних лабораторіях*

Первинні засоби пожежогасіння застосовуються для подолання невеликих загорянь, а також гасінні пожеж на початковому етапі силами персоналу об'єкта.

До первинних засобів пожежогасіння в лабораторіях належать вогнегасники, пожежне покривало (кошма), ящики з піском, пожежний кран-комплект (ПК), пожежний інвентар (відра, лопати, багри, сокири й ін.).¹⁰ Приклади первинних засобів пожежогасіння наведені на рис. 4.10, дод. 4.

Вогнегасники – найбільш ефективні первинні засоби пожежогасіння. Принцип дії вогнегасників полягає в подачі вогнегасної речовини під тиском у зону горіння. Цей принцип реалізується в різних моделях вогнегасників, кожна з яких має свої особливості застосування. Наявність вогнегасників і вміння їх застосовувати у критичній ситуації дозволить мінімізувати можливість виникнення та поширення пожежі. Вогнегасники мають розміщуватися в легкодоступних і помітних місцях, а також поблизу місць, де найбільш імовірна поява осередків пожежі.

Пожежне покривало (кошма) призначене для гасіння невеликих осередків вогню, зазвичай рідини, що палає й одягу на людині. Гасіння пожеж невеликої площі відбувається шляхом накривання полотнищем поверхні горючого матеріалу, ізолюючи її від доступу повітря. Пожежне покривало виготовлено з негорючого теплоізоляційного полотна розміром від 1×1 м до 2×2 м, що витримує температури в діапазоні від 600 °С до 1200 °С. Застосовують для гасіння пожеж класу А, В, (Е), F.

Пісок використовують як допоміжний засіб пожежогасіння. Також ефективний під час ліквідації розливу розчинників і реагентів. Піском засипають горючі речовини й матеріали, обмежуючи до них доступ повітря та перешкоджаючи їхньому розтіканню, у випадку рідин. Не можна гасити киплячі розчинники та масляні бані, це спричинить лише поширення вогню. Застосовують на всіх класах пожеж окрім F. Пісок зберігають у червоних ящиках у лабораторії або поблизу,

¹⁰ ДСТУ 2273:2006 Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять.

переносять до осередку загорання за допомогою відер або інших ємностей.

Пожежний кран представляє собою комплект пристроїв: кран (вентиль), який встановлений на трубопроводі протипожежного водопостачання й обладнаний з'єднувальною головкою, а також напірний рукав із пожежним стволом. Пожежні крани розміщуються у вбудованих або навісних шафах, на яких розміщено знак "ПК". Пожежні крани призначені для подачі води в зону пожежі.

Засоби пожежогасіння мають відповідні піктограми, які вказують на їхнє розташування.

4.5. Види вогнегасних речовин і вогнегасників

4.5.1. Класифікація вогнегасників

У вогнегасника є два основних хімічних компоненти: *вогнегасний агент* і *пропелент* (газ-витискувач). Вогнегасники класифікують за видом вогнегасних агентів на *водяні* (ВВ), *водопінні* (ВВП), *порошкові* (ВП), *газові* – *вуглекислотні* (ВБК) і *хладонові* (ВХ), а також *комбіновані*¹¹.

За способом витискання вогнегасної речовини вогнегасники поділяють на *закачні* (з), із *пусковим балоном* (б) і з *газогенеруючим елементом* (г). У закачаних вогнегасниках, пропелент зберігається під тиском у тій самій камері, що й вогнегасний агент. У корпусі вогнегасників із пусковим балоном окремо містяться вогнегасний агент і балон з пропелентом (газ може бути стисненим чи зрідженим), які змішуються в момент розрядження. Також існують вогнегасники, у яких надлишковий тиск у корпусі створюється газом, що виділяється внаслідок хімічної реакції між компонентами заряду газогенеруючого елемента, наприклад розклад азиду натрію з утворенням азоту. Як пропелент використовують N₂, CO₂, стиснене повітря. Закачні вогнегасники (з) є більш поширеними.

Розрізняють переносні й пересувні вогнегасники, загальна маса яких становить менше та більше 20 кг, відповідно.

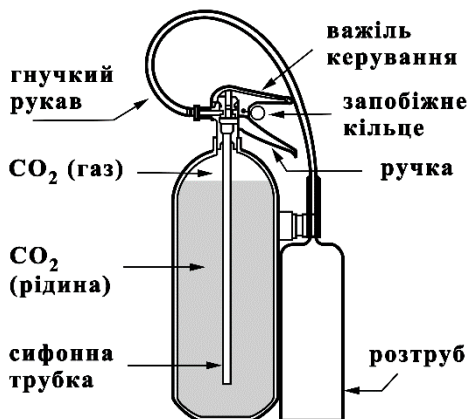
¹¹ ДСТУ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.

Вогнегасники класифікують за класом пожеж, для гасіння яких вони застосовуються – ранг вогнегасника А, В, С, (Е), D, F. Додатково вказують вогнегасну здатність у вигляді групи з цифр і літер, наприклад 2А та / або 89В. Вогнегасна здатність визначається можливостями вогнегасника погасити *модельні вогнища* відповідного класу пожежі. Наприклад, модельне вогнище класу 2А відповідає пожежі на дерев'яній поверхні площею 9,4 м². Модельне вогнище класу 89В відповідає пожежі за участі 89 літрів рідини (бензину), що горить на поверхні площею 2,8 м². Необхідно зазначити, що гасіння модельних вогнищ – це випробування, які чітко регламентовані нормативними документами. Насправді, за даними про вогнегасну здатність ми можемо лише *оцінювати* можливості й переваги одного вогнегасника над іншим – чим більша цифра, тим краще.

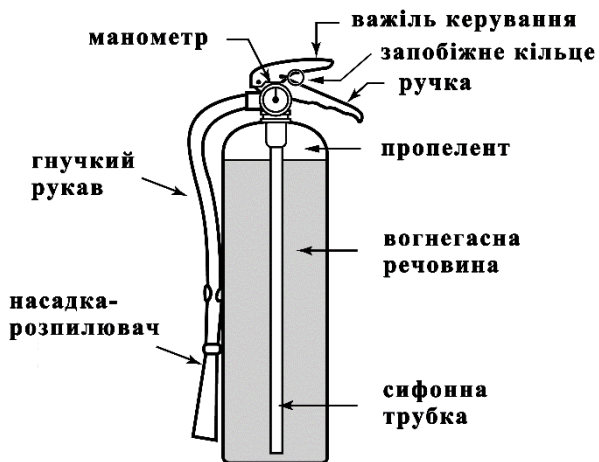
4.5.2. Будова вогнегасників

Переважає більшість вогнегасників мають однотипну конструкцію: корпус для зберігання вогнегасної речовини та запірно-пусковий пристрій для подачі вогнегасної речовини. Корпус вогнегасника, зазвичай це металевий балон циліндричної форми червоного кольору. Типові схеми різних вогнегасників зображено на рис. 4.2. Вогнегасник, у якому маса номінального заряду вогнегасної речовини становить 3 кг і більше, оснащений гнучким рукавом не менше 40 см. Закачні вогнегасники оснащені манометром для контролю робочого тиску, стрілка манометра повинна перебувати в зеленому секторі.

а)



б)



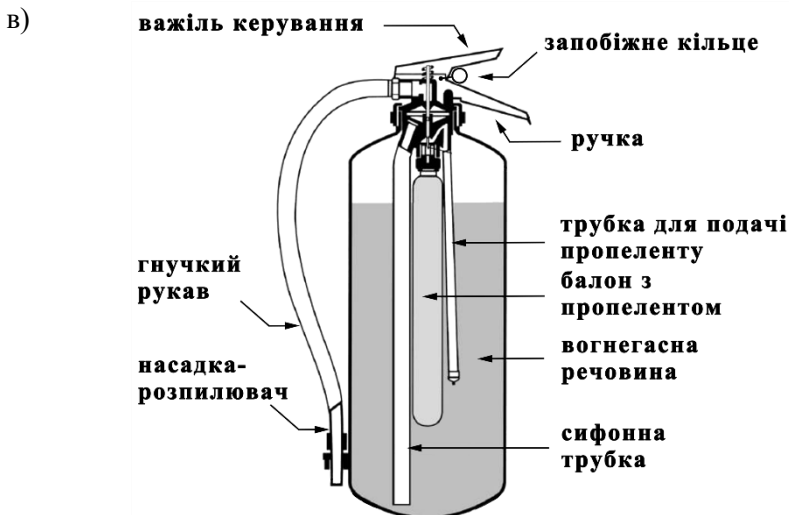


Рис. 4.2. Типові схеми вогнегасників: а) вуглекислотні; б) закачний (з); в) із пусковим балоном (б)

Спільність конструкції сучасних переносних вогнегасників забезпечує простоту їхнього використання. Загальний спосіб приведення вогнегасників в дію:

Висмикнути ⇒ Спрямувати ⇒ Натиснути ⇒ Гасити

Взяти за ручку ⇒ *Висмикнути* запобіжне кільце ⇒ *Спрямувати* насадку-розпилювач або розтруб в основу вогню ⇒ *Натиснути* важіль керування, внаслідок чого, вогнегасна речовина під дією надлишкового тиску переміщується по сифонній трубці і гнучкому рукаву (за наявності) до насадки-розпилювача (або розтрубу), через які подається у вогнище пожежі ⇒ *Гасити* вогонь від його краю, рухами з боку в бік ⇒ відпустити важіль керування для припинення подачі вогнегасної речовини.

У випадку вогнегасників з пусковим балоном (див. рис. 4.2), при натисненні важелю керування, спершу відбувається розгерметизація балону із пропелентом, що створює надлишковий тиск. Зустрічаються моделі вогнегасників, у яких насамперед потрібно натиснути кнопку активації пускового

балона із пропелентом. Також іноді пусковий балон із пропелентом розташований ззовні корпусу, що властиво для вогнегасників великої місткості.

4.5.3. Маркування вогнегасників

Маркування кожного вогнегасника здійснюється шляхом наклеюванням етикетки, яка містить технічну інформацію про цей засіб пожежогасіння. У критичній ситуації важливо знати – назву вогнегасника, класи пожеж для гасіння яких він призначений (ранг вогнегасника) і спосіб застосування вогнегасника.

У назві вогнегасника:

- великими *літерами* позначають *вид* вогнегасника залежно від вогнегасної речовини,
- *цифра*ми – значення *номінального заряду* вогнегасної речовини,
- *маленькими літерами* в дужках – *спосіб витискання вогнегасної речовини*.
- біля назви вогнегасника, *маленькими цифрами* та *літерами* додатково вказують *вогнегасну здатність*.

Назва вогнегасника міститься на фоні відповідного кольору:

- для *водяного* – *синього*;
- для *водопінного* – *зеленого*;
- для *порошкового* – *білого*;
- для *вуглекислотного* – *чорного*;
- для *хладоного* – *жовтого*.

Під назвою вказують вогнегасну здатність. У європейських вогнегасниках, фон на якому міститься назва відрізняється від українських стандартів.

Далі міститься інформація у вигляді піктограм і символів про спосіб застосування та класи пожеж, для гасіння яких рекомендовано й не рекомендовано цей вогнегасник (символи класів пожежі, для гасіння яких вогнегасник непридатний, перекреслені червоною діагональною лінією). Також вказується можливість застосування вогнегасника для гасіння пожежі за участі електрообладнання під напругою.

Приклад 1. "ВВК-2" – вогнегасник вуглекислотний, маса вогнегасного агенту CO_2 становить 2 кг. Аналогічна назва цього ж вогнегасника: "ОУ-3" – "вогнегасник вуглекислотний", об'єм вогнегасного агенту CO_2 становить 3 л. Назва міститься на чорному фоні.

Приклад 2. "ВП-5(з)" – вогнегасник порошковий, закачний, маса порошку становить 5 кг. Аналогічна назва цього ж вогнегасника: "ОП-5" – "вогнегасник порошковий". Назва міститься на білому фоні (див. рис. 4.3).

Вогнегасники призначені для використання на території України, а також їхні закордонні аналоги зображені на рис. 4.11, дод. 4.



Рис. 4.3. Вогнегасник порошковий, закачний, маса порошку становить 5 кг

Було б чудово, аби існував лише один вогнегасник, який працював би на всіх класах пожеж і був дешевим у виробництві та придбанні. Насправді, усе не так ідеально, але існують досить хороші варіанти.

Найбільш поширені вогнегасники в лабораторіях – **ABC(E)** та **BC(E)**. Деякі лабораторії оснащують вогнегасниками рангу **D**, якщо вони використовують активні метали або пірофорні металоорганічні сполуки. Вогнегасник із підвищеним тиском води (клас А) навряд чи розміщуватиметься в лабораторії, оскільки багато лабораторних пожеж буде класом В, а струмінь води високого тиску буде лише погіршувати пожежу класу В.

Нижче ми детально розглянемо вогнегасники на основі *вуглекислого газу та вогнегасних порошків*, оскільки вони є найбільш імовірними вогнегасниками для використання в хімічній лабораторії. Ми також коротко згадаємо про воду як вогнегасний агент, хоча це, зазвичай не найкращий агент для лабораторних пожеж.

4.5.4. Використання води для гасіння пожежі

Оскільки більшість лабораторних пожеж є вогнем класу В та / або класу (Е), вода, зазвичай не найкращий вибір для гасіння пожежі в лабораторії. Винятком із цього, наприклад, могла б стати ситуація, коли в лабораторії загорілися певні папери чи лабораторний одяг. Це, безумовно, вогонь класу А. Водночас його можна просто полити водою або, якщо можливо, перенести папір у прилеглу мийку та включити воду. Вода гасить вогонь класу А, насамперед шляхом охолодження палива, що горить. Це вилучає компоненту "*теплота*" в *Тетраедрі вогню*, і вогонь перестає горіти.

Хімічний аспект: чому пожежники люблять воду?

Вода має багато переваг, як вогнегасний агент для пожеж класу А. Деякі з цих переваг можуть здатися "очевидними" або навіть несуттєвими, але порівняно з іншими можливими засобами для пожежогасіння цей список стає дуже важливим.

Вода дешева, її багато, не токсична. Не розкладається під впливом вогню й не утворює токсичних продуктів розкладу. За температури 1926,85 °C (2200 K) лише три відсотки молекул води

зазнають розпаду. Вода має дуже високу теплоємність як у рідкому, так і газоподібному стані, а теплоти пароутворення становить 2258,5 кДж / кг. Це дозволяє ефективно поглинати теплоту, знижуючи температуру горіння.

За рівнянням Менделєєва – Клайперона можемо розрахувати об'єм водяної пари, що утворюється з 1 л води (55,5 моль) за типової температури пожежі за 1026,85 °С (1300 К). Орієнтовний об'єм водяної пари становитиме 5900 л. Отже вода, перетворюючись на пару, здатна не лише поглинати теплоту, а й значно понижувати концентрацію кисню в осередку пожежі. Водночас гарячий струмінь водяної пари є небезпечним для пожежників. Вода також здатна розчиняти інші хімічні речовини, тим самим стаючи ще більш ефективним вогнегасним агентом. Корисно знати, що *пожежі* за участі *хлору*, *хлоремісних* та інших окисників гасять лише за допомогою надлишку *води*.

З додаванням до води *піноутворювачів* – поверхнево-активних речовин (ПАР), утворюється піна. Застосування піни під час гасіння пожежі дозволяє: обмежити доступ кисню до зони горіння, зменшити інтенсивність випаровування горючої рідини, а також охолодити об'єкт горіння.

Піна *класу А* – це поверхнево-активні речовини, які використовуються під час гасіння пожеж у будинках і лісових пожеж для того, щоб вода краще вбиралася в деревину, що забезпечує додатковий захист від "повторного загоряння". Піни *класу А* містять 0,1–1 % водний розчин ПАР на основі довголанцюгових алкілсульфонатів, алкілсульфатів, спиртів тощо.

Піна *класу В* – це агенти, які утворюють незаймисту піну, що покриває поверхню горючої рідини (пожежа *класу В*), запобігаючи контакту кисню з парою рідини, тим самим зупиняючи вогонь. Піни *класу В* містять 1–6 % піноутворювачів, які за складом ПАР поділяються на: AFFF, FFFP, FP, P. Наприклад, AFFF (aqueous film forming foam) – це найбільш поширені плівкоутворювальні піноутворювачі на основі синтетичних фторовмісних ПАР, також до їхнього складу можуть входити вуглеводневі ПАР. Варто зазначити, що рідини, які змішуються з водою здатні руйнувати структуру піни, тим самим

значно зменшуючи її вогнегасну здатність. Тому в таких випадках використовують піноутворювачі класу AR (alcohol resistant), а саме AR-AFFF, AR-FFFP, FPAR, що придатні для гасіння як нерозчинних, так і розчинних у воді горючих рідин.

Піна належать до дисперсних систем, що складається з бульбашок газу (дисперсна фаза), які розділені тонкими плівками рідини (дисперсійне середовище). До речі, дисперсна система це – гетерогенна система з двох або більше фаз із сильно розвиненою поверхнею розділу між ними. Приклади: аерозоль, емульсія, суспензія, пил. Піни характеризуються кратністю та стійкістю. Кратність це – відношення об'єму піни до об'єму піноутворюючої рідини, у нашому випадку, води. Вогонь на поверхні твердих матеріалів гасять піною з низькою кратністю (до 20). Для гасіння пожежі за участю горючих рідин застосовують піну середньої кратності (до 200), для великих пожеж потрібні піни з високою кратністю (до 1000).

4.5.5. Чисті вогнегасні агенти

"Чисті вогнегасні агенти" отримали свою назву завдяки "чистій роботі" під час гасіння пожежі, тобто після їхнього застосування не залишається жодних слідів. Це особливо важливо для захисту чутливої електроніки та вартісного обладнання. "Чисті вогнегасні агенти" діють за принципом витіснення кисню повітря із зони горіння, блокування хімічної ланцюгової реакції або відведення теплоти. До них належать: азот, аргон, CO₂, галогеналкани – за звичайних умов, це газоподібні сполуки або низькокиплячі та легколетючі рідини. Їх класифікують як *газові вогнегасні речовини*, які застосовуються в газових вогнегасниках і газових системах пожежогасіння. Газові вогнегасники поділяють на *вуглекислотні (ВВК)* і *хладонові (ВХ)*.

4.6. Вогнегасники

4.6.1. Водяні вогнегасники

Водяні вогнегасники застосовують для гасіння пожеж класу А. Вогнегасний агент – вода, що подається в ручному

режимі або під тиском газу-витискувача. Вогнегасники класу А в лабораторіях не використовуються.

Пінні (водопінні) вогнегасники

Пінні (водопінні) вогнегасники застосовують для гасіння пожеж класів **А** та **В**. Вогнегасний агент – піна, яка поділяється за механізмом утворення на повітряно-механічну й хімічну.

Водопінний вогнегасник (наприклад ВВП-9), альтернативна назва "*вогнегасник повітряно-пінний*" (наприклад ОВП-9), складається зі сталевого корпусу, у якому міститься 0,1–6 % водний розчин піноутворювача та пусковий балон із повітрям або CO_2 для створення потоку повітряно-механічної піни. Застосовується для гасіння як локальних загорянь так і при масштабних пожежах класу **А** та **В**.

Також відомі **аерозольні водопінні вогнегасники** (ВВПА), особливістю яких є ефективна подача піни у вигляді аерозолю. До класу водопінних вогнегасників можна віднести **повітряно-емульсійні вогнегасники**, у яких підвищено відсотковий вміст поверхнево-активних речовин. Для них заявлена вогнегасна здатність класу **АВС(Е)**. Варто зазначити, широкого використання на виробничих об'єктах вони не мають порівняно із класичними пінними вогнегасниками рангу АВ.

Хімічний пінний вогнегасник (наприклад, ВХП-10, ОХП-10) і **хімічний повітряно-пінний вогнегасник** (наприклад, ВХПП-10, ОХВП-10) генерує піну внаслідок взаємодії кислотного заряду, що містить сірчану кислоту, сульфат заліза (ІІІ) або сульфат алюмінію, з водним розчином гідрокарбонату натрію та поверхнево-активних речовин.

Рідинні хімічні вогнегасники

Рідинні хімічні вогнегасники (Wet Chemical Fire Extinguishers) застосовують для гасіння пожеж класів **А** і **В**. Вогнегасний агент – водний розчин солей (ацетат калію, карбонат калію або цитрат калію) із добавками детергентів. Під час гасіння, лужні реагенти вступають у реакцію омилення з палаючими жирами, утворюючи мильну плівку, що ізолює поверхню олії від вогню. Водночас, водна складова охолоджує олію нижче температури її займання, запобігаючи повторному загорянню. Рідинні хімічні

вогнегасники – сучасні засоби гасіння пожеж на кухнях, спричинених харчовими оліями й жирами (клас F).

Забороняється застосовувати водяні, пінні та рідинні хімічні вогнегасники для ліквідації пожеж за участі обладнання, що перебуває під електричною напругою, а також для гасіння речовин, які реагують із водою, зокрема пожежі класу D.

Водяні аерозольні вогнегасники

Сучасний спосіб гасіння пожежі за допомогою води – створення водяного аерозолю шляхом розпилення деіонізованої води під тиском до дрібнодисперсних краплин розміром 25–100 мікрон. Водяний аерозольний вогнегасник (Water Mist Fire Extinguisher) застосовують на пожежах класу **ABCF**, класу **(E)** до 1000 В; спричиняє мінімальні пошкодження та не є токсичним. Очевидні переваги для застосування в побуті, офісах і медичних закладах, однак не для хімічної лабораторії, особливо при пожежах класу D.

4.6.2. Вуглекислотні вогнегасники

Вогнегасник, який можна побачити в лабораторії – це важкий червоний металевий балон із кількома кілограмами рідкого діоксиду вуглецю всередині та великою широкою насадкою у формі сопла, що має назву "розтруб" (розширена труба) (див. рис. 4.4). У цьому випадку пропелент і вогнегасний агент є однією й тією ж речовиною – CO_2 . Вуглекислотні вогнегасники призначені для пожеж класу **B** та **(E)**. Вони неефективні для гасіння пожеж поза приміщенням. Не варто використовувати для пожеж класу A.

Тиск насиченої пари рідкого CO_2 за 25 °C становить близько 63 атм. Коли вогнегасник розряджається, газ миттєво виходить через розтруб, збільшуючись в об'ємі до 500 раз. Цей процес супроводжується різким зниженням температури CO_2 газу з утворенням сніжинок твердого CO_2 . Метод гасіння вогню полягає в тому, щоб знизити концентрацію атмосферного кисню до дуже низького рівня, створюючи "ковдру" з CO_2 газу на місці пожежі. Також додатково знижується температура зони горіння. Це миттєво гасить вогонь, а в разі горіння рідини значно зменшується швидкість випаровування рідини. Лише мить, і більше немає палива або теплоти для продовження горіння

вогню. CO_2 швидко розсіюється й кисень повертається, проте теплоти від вогню вже немає і вогонь відновитись не може. Отже, навіть якщо паливо й кисень присутні, припинення горіння усуває надходження теплоти, необхідної для продовження хімічної реакції.



Рис. 4.4. Вуглекислотний вогнегасник ВВК-2

Що станеться, якщо вогнегасник CO_2 використовувати на вогні класу А, такому як палаюча деревина? Пожежа миттєво гаситься через брак кисню, але коли CO_2 розсіюється, дуже гаряча деревина може знову легко загорітися при поверненні кисню. Отже, вогнегасники CO_2 не повинні використовуватися на пожежах класу А.

Вуглекислотні вогнегасники є корисними для пожеж класу В (горючі та легкозаймисті рідини), але також можуть успішно використовуватися для деяких пожеж класу (Е). Вуглекислотні вогнегасники придатні для гасіння пожежі за участі електрообладнання під напругою *не більше* 1000 В. Водночас, необхідно витримувати безпечну відстань (*не менше* 1 м) від насадки вогнегасника (розтруба) до струмопровідних частин електрообладнання. Проте, якщо обладнання (пожежа класу А/Е) не відімкнута від електроживлення, вогонь може знову розпочатися, як тільки в кисню з'явиться доступ до вогню класу А/Е. Так само можуть повторно спалахнути органічні розчинники, якщо залишаться інші джерела теплоти, крім самого вогню, який був ліквідований вуглекислотним вогнегасником. Варто зазначити, що порошкові вогнегасники є кращим засобом

гасіння пожеж за участі органічних розчинників, як описано нижче.

Хімічні аспекти: застосування принципів загальної хімії для вуглекислотних вогнегасників

Розглянемо принцип роботи вуглекислотного вогнегасника на молекулярному рівні.

У якому агрегатному стані вуглекислий газ міститься всередині вогнегасника? Більшість людей спостерігають CO_2 лише як газ (наприклад, бульбашки в газованому напої) або тверду речовину у вигляді "сухого льоду". Фактично, одним із небагатьох поширених досліджень сублімації є спостереження за "зникненням" шматочка сухого льоду. Може виникнути запитання, чому він не тане, як більшість твердих речовин з підвищенням температури. Однак, CO_2 всередині вуглекислотного вогнегасника перебуває в рідкому стані. Фазова діаграма на рис. 4.5 показує, що за кімнатної температури (близько 25°C) CO_2 можна конденсувати до рідини лише під високим тиском. Тиск насиченої пари рідкого CO_2 за 25°C становить близько 63 атм, це означає, що тиск CO_2 газу над поверхнею рідини становить 63 атм. Не дивно, що газ дуже сильно виштовхується під час розрядження вогнегасника. Вуглекислотні вогнегасники не мають або не потребують манометрів, тому що тиск всередині становить 63 атм, поки присутня певна кількість рідини, чи це буде 2 кг або 100 г рідкого CO_2 . Вогнегасник перевіряється щомісяця за його масою.

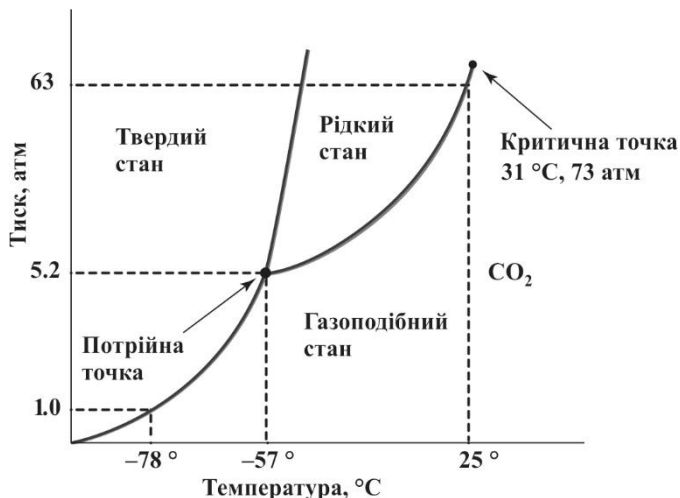


Рис. 4.5. Фазова діаграма для CO_2 (шкали графіка є нерівномірними)

У якій формі буде CO_2 після розрядження вогнегасника? Лише через декілька хвилин після розрядження більша частина CO_2 з'являється як тверда речовина, схожа на "сніг", що вкриває вогонь. Фазова діаграма вказує на те, що за атмосферного тиску (1 атм) CO_2 може існувати лише у вигляді твердої речовини, якщо температура нижче -78°C . Це нормальна температура сублімації CO_2 .

Як CO_2 стає настільки холодним? Пари всередині вогнегасника містяться за кімнатної температури. Що викликає охолодження газу до температури нижче -78°C ? Що спричинює перепад температури понад 100°C менш ніж за секунду? Під час викиду газу, він значно розширюється завдяки зміні тиску від 63 до 1 атм. Для подолання міжмолекулярних взаємодій між молекулами газу необхідна енергія. Єдиним джерелом цієї енергії є кінетична енергія системи, причому внутрішня енергія системи зменшується (це адіабатичний процес, зміна стану системи без обміну теплом із навколишнім середовищем під час розширення газу). Втрата кінетичної енергії викликає значне зниження температури. Цей процес називається розширенням Джоуля – Томсона. Стиснення газу підвищує температуру, а розширення газу знижує температуру. Цей же принцип

використовується у процесі охолодження в холодильних установках.

Це є вагомим приводом не триматися руками за розтруб вуглекислотного вогнегасника під час його роботи, тому що він стане дуже холодним. Необхідно наголосити, застосування вуглекислотного вогнегасника без розтрубу – *не допустиме*, оскільки проявлятиметься зворотний ефект гасіння. Потужний некерований потік газоподібного CO_2 підхоплюватиме та нагнітатиме повітря в зону горіння, тим самим "роздмухуючи" пожежу. У тому й полягає функція розтрубу, створювати направлений потік CO_2 в момент виходу з корпусу без доступу повітря. До речі, вуглекислотні вогнегасники створюють дуже гучний шум! Також, необхідно врахувати, що застосування вуглекислотного вогнегасника в замкненому просторі (невелике приміщення) може спричинити ускладнення дихання та запаморочення, внаслідок локального збільшення концентрації CO_2 та зниження вмісту кисню в повітрі.

Не дивно чому вогнегасники настільки важкі, порівняно з масою CO_2 (табл. 4.3). Їхній металевий корпус має витримувати тиск до 150 атм. Чому аж стільки? Температурний діапазон використання вогнегасників становить від -20 до $+50$ °С. Як бачимо на фазовій діаграмі, із підвищенням температури тиск різко зростає, тому вогнегасники обладнані запобіжним клапаном, що попереджує вибухове руйнування корпусу.

Використовують ручні вуглекислотні вогнегасники – ВВК-1,4; ВВК-2; ВВК-3,5; ВВК-5 і пересувні вогнегасники – ВВК-18; ВВК-28; ВВК-56 (див. дод. 4). Технічні характеристики окремих вогнегасників наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Технічні характеристики вуглекислотних вогнегасників

	ВВК-1,4 (ОУ-2)	ВВК-2 (ОУ-3)	ВВК-3,5 (ОУ-5)	ВВК-5 (ОУ-7)	ВВК-18 (ОУ-25)
Місткість корпусу, л	2	3	5	7	25

Маса вогнегасної речовини, кг	1,4	2	3,5	5	18
Довжина струменя вогнегасної речовини, м	2	2	2,5	3	4
Тривалість подачі вогнегасної речовини, с	6–11	6–13	9–16	9–20	15–20
Маса вогнегасника повна, кг, не більше	7	11	16	20	90
Діаметр і висота корпусу, мм, не більше*	108, 480	108, 580	140, 600	140, 750	220, 1300

*можуть відрізнятися залежно від виробника

4.6.3. Порошкові вогнегасники

Порошкові вогнегасники використовують для ліквідації горіння твердих (А), рідких (В) і газоподібних речовин (С), електроустановок під напругою (Е), а також спеціальні порошкові вогнегасники – під час горіння активних металів (D). У порошкових вогнегасниках як вогнегасні агенти використовують порошки – сухі хімічні речовини. *Вогнегасні порошки*, і відповідно вогнегасники, якими вони заповнені, поділяються на типи: **ВС(Е)**, **АВС(Е)** та **D** залежно від класів пожеж, на яких вони застосовуються. Порошки також містять спеціальні добавки (силікати, стеарати, силікони) для того, щоб вони зберігалися сипучими, були стійкими до вологості та злипання.

Вогнегасна дія порошків направлена на відокремлення компонентів *Тетраедру вогню*, а саме:

- 1) *інгібування* хімічних процесів *горіння* активними високодисперсними твердими частинками;
- 2) *ізоляція* поверхні горючих речовин від зони горіння шаром порошку;

- 3) *витіснення кисню* із зони горіння порошковою хмарою або газоподібними продуктами термічного розкладу порошку, наприклад CO_2 ;
- 4) *вилучення теплоти*, яка витрачається на нагрівання, розтоплення, випаровування та термічний розклад компонентів порошку.

✓ Порошки класу ABC(E)

До складу порошку входить *дигідрофосфат амонію* $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ як основний компонент, гідрофосфат амонію, сульфат амонію й інші допоміжні речовини. Порошок має жовтий колір.

Принцип дії:

- інгібування ланцюгової реакції,
- відділення палива від кисню,
- вилучення теплоти.

Під час нагрівання $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$ розкладається з утворенням плівки поліфосфорних кислот. Полімер щільно вкриває поверхню горючого матеріалу, ізолюючи його від атмосферного кисню, що дозволяє зупинити горіння. Амоній фосфатні порошки спричиняють корозію матеріалів під час контакту з водою або вологою. Тому варто ретельно очистити всі місця, де застосовувався порошок. Порошки використовують під час пожеж класу ABC(E).

Вогнегасні порошки ABC(E) *не сумісні (!)* з вогнем за участі хлору та *хлоровмісних окисників*, оскільки відбувається реакція між солями амонію й окисником з утворенням вибухонебезпечної сполуки трихлориду азоту NCl_3 .

✓ Порошки класу BC(E)

Основним компонентом цих порошків може бути *гідрокарбонат натрію*, *гідрокарбонат калію* й найбільш ефективний композит на основі *гідрокарбонату калію* та *алофанату калію* (карбамоїлкарбамат калію, продукт реакції гідрокарбонату калію та сечовини).

Основний *ефект гасіння* досягається:

- блокуванням ланцюгової реакції горіння,
- також, під час термічного розкладу порошку утворюється CO_2 , який витісняє повітря із зони вогню.

Порошки використовують під час пожеж класу **BC(E)**, *не рекомендовано* під час пожеж класу **A**. Порошок на основі гідрокарбонатів можна *обмежено* застосовувати на пожежах класу **F**.

✓ Порошки класу **D**

Спеціальні порошки використовують під час гасіння пожеж за участі *металів* і їхніх похідних.

Порошок діє за *принципом*:

- ізоляції горючого металу від доступу кисню,
- відведення теплоти необхідної для підтримки вогню.

Для цього поверхню горючого матеріалу вкривають шаром порошку до 5 см. Складність пожежі класу **D** зумовлює використання різних типів порошоків залежно від металу, який загорівся.

Вогнегасні порошки:

- хлорид натрію й калію,
- порошок міді,
- графіт,
- карбонат натрію.

Хлорид натрію й калію використовують для гасіння лужних металів, зокрема натрію й калію, а також інших металів, наприклад магнію, титану, алюмінію, урану, цирконію.

Не ефективний для *літію*, оскільки не здатен ефективно вкривати поверхню розплавленого металу. Також при горінні, літій витісняє натрій із хлориду натрію.

Обмежено ефективний при пожежах класу **BC(E)**.

Порошок графіту призначений для гасіння літію та магнію, також добре працює на інших металах.

Не можна (!) використовувати для гасіння калію, оскільки під час горіння утворюється надпероксид калію, що реагує з графітом з вибухом.

Порошок міді використовують для гасіння лише літію.

Карбонат натрію використовують для гасіння натрію й калію, *не можна (!)* для літію. Обмежено застосовують для інших металів.

Варто зазначити, англomовна назва порошкових вогнегасників – *Dry Chemical Powder (DCP) fire extinguisher, Dry Chemical fire extinguisher, Dry Powder fire extinguisher* – всі три назви є взаємозамінні для широкого вжитку. Однак у професійних колах, тип порошкового вогнегасника розрізняють за основним принципом дії порошку: *Dry Chemical* – порошки класу ABC(E) та BC(E), сухі хімічні речовини, інгібітори ланцюгової хімічної реакції; і *Dry Powder* – порошки класу D, сухі порошки, ізолюють паливо, вилучають теплоту.



Рис. 4.6. Порошковий вогнегасник ВП-5 (3), клас ABC(E)



Рис. 4.7. Порошковий вогнегасник, клас D

Порошкові вогнегасники (ВП) мають типову конструкцію: корпус, у якому зберігається вогнегасний порошок із пропелентом, запірно-пусковий механізм і насадка-розпилювач.

Спеціальні порошкові вогнегасники (наприклад ОПС-10(з)-Д) призначені лише для гасіння пожеж класу **Д**, мають куполоподібну насадку-розпилювач, через яку порошок подається на горючий метал у напрямку зверху-вниз, по суті засипається. Робочий тиск у корпусі вогнегасника становить не більше 16 атм. Температурний діапазон експлуатації – від -20 до +50 °С. Тривалість приведення в дію до 5 с. За активації вогнегасника, направлений потік порошку подається в зону горіння надлишковим тиском газу CO₂ або N₂, який закачаний у корпус вогнегасника ("з" – закачні) або міститься в пусковому балоні ("б" – балон).

Таблиця 4.4

Технічні характеристики окремих порошкових вогнегасників

	ВП-2(з) (ОП-2(з))	ВП-5(з) (ОП-5(з))	ВП-9(з) (ОП-9(з))	ВП-45(з) (ОП-50(з))
Місткість корпусу, л	2,5	6	12	50
Маса вогнегасної речовини, кг	2	5	9	45
Довжина струменя вогнегасної речовини, м	2	3,5	4,5	9
Тривалість подачі вогнегасної речовини, с	6–9	9–12	12–15	20–25
Маса вогнегасника повна, кг, не більше	3,5	8	14	80

Ширина та висота корпусу, мм, не більше*	115, 350	160, 480	180, 585	480, 1170
--	----------	----------	----------	-----------

*можуть відрізнятись залежно від виробника

Порошкові вогнегасники АВС(Е) є найбільш поширеними в хімічних лабораторіях. Необхідно враховувати, що під час застосування вогнегасника в замкненому просторі виникає порошкова хмара, яка значно знижує видимість. Також під час контакту з порошком можуть виникнути ускладнення дихання, подразнення очей і шкіри. Застосовувати порошкові вогнегасники рекомендують лише після евакуації персоналу.

Порошкові вогнегасники *придатні* для гасіння електрообладнання, що перебуває під напругою до 1000 В, із відстані не менш ніж 1 м.

Вогнегасні порошки вкрай негативно впливають на електронну техніку. Іноді краще спочатку надати перевагу вуглекислотному вогнегаснику. Наприклад, лабораторія хроматографічного аналізу може зазнати величезних збитків, лише від самого порошку. Водночас, палаючий розчинник у лабораторії органічного синтезу потрібно погасити в будь-який спосіб і в цьому випадку порошкові вогнегасники працюють найкраще. Після використання навколо безлад і все вкрито порошком, але краще прибирання, ніж руйнування, яке може спричинити пожежа.

4.6.4. Хладонові вогнегасники

Низькомолекулярні галогеналкани отримали визнання та набули широкого вжитку як ефективні вогнегасні речовини та холодильні агенти. Ці сполуки є високозаміщеними галогенопохідними метану й етану, де зустрічаються різні комбінації галогенів: фтору, хлору та броду, рідше йоду. Мають декілька назв: *галони* (Halons), *фреони* або *хладони*.

Галони – вся група галогенопохідних метану та етану.

Фреони, синонім *хладони* – група фторовмісних алканів і фторовмісних галогеналканів.

Для кожної групи існує окрема номенклатура. Вогнегасники, у яких застосовуються галогеноалкани як вогнегасні речовини, класифікують як хладонові вогнегасники (**ВХ**).

Галогеналкани застосовують для гасіння пожеж класу **Е** за участі електрики й електронного обладнання та пожеж класу **В**, а також застосовують на пожежах класу **А** за відповідної кількості вогнегасної речовини.

Запропонований *механізм гасіння* полягає у:

- поглинанні гідроксильних радикалів як частини ланцюгової реакції горіння,
- витісненні атмосферного кисню із приміщення,
- відведенні теплоти.

Так вилучаються компоненти *Тетраедра вогню*. Існує декілька переваг використання галогеналканів над CO_2 , зокрема краща ефективність на грам речовини та низький рівень фізіологічних впливів на людей за необхідних концентрацій для гасіння.



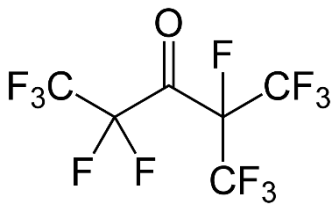
Рис. 4.8. Хладоновий вогнегасник

Упродовж багатьох років найбільш поширеними галогеновмісними вогнегасними речовинами були галони: CF_3Br (галон 1301, хладон 13В1, ВТМ), CF_2ClBr (галон 1211, хладон 12В1, ВСF), $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ (галон 2402, хладон 114В2). Однак, у 1989 р. Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар (The Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer) – міжнародний договір, який постановив поетапно відмовитися від виробництва та використання речовин, пов'язаних із руйнуванням озонового шару. Протокол зосередив увагу на галогеналканах, що насамперед містять *бром*, потім *хлор*.

Наприклад, 1 кг галону 1211 може знищити 50 т озону. Речовини, що містять лише *фтор*, не шкодять озоновому шару. Повна

поетапна відмова від сумнівних речовин має завершитися до 2030–2040 рр. залежно від регіону світу.

На заміну озоноруйнівним молекулам було запропоновано багато "чистих" газових вогнегасних речовин – CO_2 , азот, аргон, поліфторовані сполуки. Водночас, більшість нових поліфторованих алканів належать до парникових газів і підпадають під обмеження Кіотським протоколом. Газові вогнегасні речовини дозволені до використання в Україні, їхні характеристики та вплив на навколишнє середовище наведені в додатку 4, табл. 4.⁷¹² Прикладом таких сполук є Novec 1230 і FE-36.



Novec 1230

Novac 1230 – перфторований кетон, за нормальних умов рідина ($T_{\text{кип.}} 49\text{ }^{\circ}\text{C}$) без кольору й запаху, не проводить електричний струм, має низьку розчинність у воді. Іноді цю речовину називають "сухою водою", що візуально схожа на

ЧИСТУ ВОДУ.

Не токсичний, не впливає на працюючу електроніку, не руйнує паперові документи та художні твори. Ці властивості забезпечили можливість застосування Noves 1230 (FK-5-1-12) у системах пожежогасіння для серверних приміщень та іншої електроніки, бібліотек, музеїв, архівів тощо. Noves 1230™ розроблений і запатентований корпорацією 3M Company у процесі створення вогнегасних речовин альтернативних озоноруйнівним.

FE-36 – *гексафторпропан* ($\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$), за нормальних умов газ без кольору і запаху, легко зріджується, $T_{\text{кип.}} -1,4^\circ\text{C}$, тиск насиченої пари 2,7 атм. FE-36 (HFC-236fa) – застосовується в сучасних системах пожежогасіння та хладонових вогнегасниках, розроблений компанією DuPont на заміну галону 1211.

¹² ДСТУ EN 15004-1:2014 Стационарні системи пожежогасіння. Системи газового пожежогасіння. Частина 1. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 15004-1:2008, IDT)

Хоча сучасні поліфторовані вогнегасні речовини за звичайних умов не шкідливі, проте під час пожежі за високої температури утворюються токсичні продукти їхнього розкладу. Застосовувати хладонові вогнегасники рекомендують після евакуації персоналу.

Хладонові вогнегасники застосовуються на *пожежах* класу **Е**, а також класу **А** та **В**, *не можна (!)* використовувати на пожежах класу **Д**. Хладонові вогнегасники в хімічній лабораторії зустрічаються рідше, що зумовлено їх на порядок більшою вартістю порівняно з вуглекислотними та порошковими вогнегасниками. Однак, у лабораторіях оснащених коштовним обладнанням доцільно використовувати саме хладонові вогнегасники.

4.7. Вибір типу вогнегасника для різних класів пожеж

Узагальнену інформацію щодо класів пожеж і засобів пожежогасіння наведено в табл. 4.5. Великий вибір вогнегасних агентів, вогнегасників та особливостей їхнього застосування може нас дещо збентежити, як це все запам'ятати, а особливо як все згадати у критичній ситуації. Варто нагадати, що на вогнегасниках нанесені піктограми класів пожеж, які вони здатні погасити, а які – ні.

Специфіка пожеж у хімічній лабораторії обумовлює обмежений набір первинних засобів пожежогасіння, який потрібно вивчити:

- ✓ вогнегасники вуглекислотні,
- ✓ вогнегасники порошкові ABC(E),
- ✓ вогнегасники порошкові D,
- ✓ вогнегасники хладонові,
- ✓ інертні гази,
- ✓ пожежне покривало.

Порошкові вогнегасники ABC у комбінації з вуглекислотними формують ефективний первинний засіб гасіння пожежі в хімічних лабораторіях різного профілю.

Таблиця 4.5

Класи пожеж і засобів пожежогашіння

Вогнегасники Fire Extinguishers	Класи пожеж					
✓ <i>придатні</i> ✗ <i>непридатні (малоефективні)</i> ✗! <i>непридатні (небезпечні)</i>	 Тверді матеріали	 Рідини	 Гази	 Електро-установки	 Кулінарні олії та жири	 Метали
Водяний Water	✓	✗!	✗	✗!	✗!	✗!
Водопінний Foam	✓	✓	✗	✗!	✗	✗!
Рідинний хімічний Wet Chemical	✓	✗	✗	✗!	✓	✗!

Закінчення табл.						
Вуглекислотний Carbon Dioxide	✗	✓	✗	✓	✗	✗!
Хладоновий Clean Agent	✓	✓	✓	✓	✗	✗!
Порошковий ABC(E) Dry Chemical Powder ABC	✓	✓	✓	✓	✗!	✗!
Порошковий BC(E) Dry Chemical Powder BC	✗	✓	✓	✓	✓	✗!
Порошковий D Dry Powder D	✗	✗	✗	✗	✗	✓
Пожежне покривало Fire Blanket	✓	✓	✗	✗	✓	✗

4.7.1. Хімічні аспекти вибору вогнегасника: загальні відомості про розчинність і густину речовин під час гасіння пожеж

Згідно із загальним правилом: вода не може використовуватися для гасіння вогню класу В, а пожежі класу В, зазвичай відбуваються за участі органічних рідин.

Властивості органічних рідин залежать від їхньої хімічної будови. Вуглеводні, що містять лише атоми Карбону та Гідрогену, це неполярні сполуки, не змішуються з водою та мають меншу густину ніж вода. Поява таких атомів, як Оксиген і Нітроген змінює фізико-хімічні властивості органічних рідин. Довголанцюгові спирти (переважно неполярні) не змішуються з водою, але коротколанцюгові спирти (переважно полярні) змішуються. Наприклад, етанол – органічний розчинник, горіння якого можна погасити за допомогою води, оскільки етанол розчиняється у воді. Також, унаслідок введення інших гетероатомів, густина органічних сполук може змінюватися. Багато галогеновмісних органічних сполук мають більшу густину, ніж вода, і ці сполуки зазвичай негорючі! (див. табл. 4.6).

Щоб визначити, як найкраще погасити вогонь за участі органічних рідин, варто прочитати *Сертифікат безпеки матеріалу* – *Material safety data sheet (MSDS)* або *Safety data sheet (SDS)*. Наприклад, SDS для ацетонітрилу: у п. 2.1 зазначено, що ацетонітрил це горюча рідина; у п. 9.1 вказано, що ацетонітрил має меншу густину ніж вода та цілком змішується з водою. Це означає, що вода, імовірно, може використовуватися для гасіння горіння ацетонітрилу. Справді, у п. 5.1 наведено відповідні засоби пожежогасіння, а саме: водяний аерозоль, піни стійкі до дії спиртів, вогнегасні порошки або вуглекислий газ.

Під час роботи з органічним розчинником доцільно дізнатись про його вогненебезпечність і які засоби пожежогасіння можна використовувати. Це потрібно визначити заздалегідь! Як тільки пожежа розпочнеться, вже буде запізно, щоб дізнаватись цю інформацію.

Тож, насамперед, приступаючи до виконання будь-якої лабораторної роботи варто ознайомитись із властивостями речовин, з якими матимете справу.

Проаналізуємо займистість найбільш поширених галогеновмісних розчинників і галогеноалканів

Пожежні рейтинги **GHS / NFPA** є показником займистості хімічної речовини (див. табл. 4.6).

Незаміщені вуглеводні є дуже легкозаймистими речовинами, водночас повністю галогенозаміщені вуглеводні не загоряються. Прикладом для кожного класу сполук може бути метан (CH_4) і тетрахлорид вуглецю (CCl_4), відповідно. Частково заміщені вуглеводні, такі як дихлорметан, мають обмежену горючу здатність. Також прослідковується взаємозв'язок між "рейтингом займистості" та "ступенем окиснення" атомів Карбону вуглеводнів.

Таблиця 4.6

*Пожежні рейтинги GHS / NFPA
для окремих хлоровмісних вуглеводнів*

Молекулярна формула	GHS рейтинг*	NFPA рейтинг*	Ступінь окиснення Карбону
CH_4	1	4	-4
CH_3Cl	1	4	-2
CH_2Cl_2	NC	1	0
CHCl_3	NC	0	+2
CCl_4	NC	0	+4
C_2H_6	1	4	-3
ClC_2H_5	1	4	-3, -1
$1,1\text{-Cl}_2\text{C}_2\text{H}_4$	2	3	-1, +1
$1,1,1\text{-Cl}_3\text{C}_2\text{H}_3$	NC	1	-3, +3
$1,1,2,2\text{-Cl}_4\text{C}_2\text{H}_2$	NC	0	+1
C_2Cl_6	NC	0	+3

NC (non-combustible) – негорючий.

* **GHS** (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) – узгоджена на глобальному рівні система класифікації та маркування хімічних речовин. **NFPA** (National Fire Protection Association) – американська Національна Асоціація Протипожежного Захисту.

Важливо зазначити, що система **GHS** 1–4 оцінює *категорію 4* як *найменш серйозний ризик*, тоді як у **NFPA** *категорія 4* представляє *найбільш серйозний ризик*.

4.8. Застосування вогнегасників і тактика пожежогасіння

Знання про те, як використовувати вогнегасник, може врятувати ваше життя в надзвичайних ситуаціях. Найкращий спосіб дізнатись, як використовувати вогнегасник – це практика. Не втрачайте можливості, щоб навчитися керувати вогнегасником. Наведені нижче інструкції варто уважно прочитати, проте ніщо не замінить практичних занять.

Маленький вогонь, зазвичай може погасити навчена людина з відповідним вогнегасником. Проте, збереження життя важливіше за втрату майна. Варто спробувати боротися з вогнем, якщо:

1. "*Маленький вогонь*". Немає чіткого визначення що таке маленький вогонь, але якщо "полум'я вище за Вас", "полум'я від підлоги до стелі" або "увесь лабораторний стіл у вогні" – це не маленький вогонь. Якщо вогонь *здається* великим, то він справді дуже великий.

2. Ви маєте правильний вогнегасник і можете швидко його взяти.

3. Ви знаєте, як використовувати вогнегасник.

4. Ви завжди тримаєте вільний вихід подалі від вогню. Ніколи не дозволяйте вогню бути між вами та вашим єдиним виходом.

4.8.1. Який вогнегасник варто використовувати

Перед тим, як використовувати вогнегасник для подолання вогню, дуже важливо визначити, чи підходить вам вогнегасник для цього типу вогню, і чи зможете ви боротися з вогнем. Якщо ви вважаєте, що не зможете боротися з вогнем, або якщо у вас є сумніви, відразу ж евакуюйте людей із приміщення й зателефонуйте в пожежну службу.

З наведеною вище інформацією, ви повинні бути в змозі ретельно вибрати правильний вогнегасник. Вогнегасники

завантажуються різними агентами для боротьби з конкретними класами пожеж. Деякі типи вогнегасників будуть неефективними проти певних класів пожеж, а інші можуть фактично погіршити пожежу. Символи на вогнегасниках допоможуть вибрати правильний вогнегасник (наприклад, рис. 4.3, табл. 4.5). Проте в момент паніки, яка часто виникає під час пожежі, вам, можливо, не доведеться думати про класи вогню та види вогнегасників. Чому ні?

Правила пожежної безпеки вимагають, щоб у приміщеннях були види вогнегасників, які підходять для найбільш вірогідних класів пожеж, що можуть виникнути в них. Тому в надзвичайних ситуаціях завжди можна покластися на те, що вогнегасники на стіні або в коридорі будуть ефективними для пожежі, із якими ви зіткнулися. Оскільки хімічні й інші наукові лабораторії можуть містити широкий набір легкозаймистих і горючих матеріалів, цілком імовірно, що наявний вогнегасник буде порошковим вогнегасником АВС(Е) або вуглекислотним ВС(Е). Погляньте на вогнегасник: він позначається великими літерами та піктограмами, що показують, яку пожежу він може погасити, а яку – ні.

4.8.2. Як використовувати вогнегасник

➤ Реагування на вогонь

Швидке гасіння вогню є дуже коротким, відповідальним і хвилюючим моментом під час лабораторного експерименту. Усе може розпочатися й закінчитися впродовж 30 с. Або вогонь може збільшитися, і навчальний корпус може бути знищено. На момент пожежі в навчальній лабораторії можуть перебувати інженери, викладачі та студенти. Якщо ви намагатиметеся спробувати самостійно погасити вогонь за допомогою вогнегасника, вам варто виконати такі дії:

✓ *Евакуювати людей.* Голосно всім повідомити, що є вогонь, і ви намагаєтеся його погасити. Переконайтеся, що хтось інший починає евакуювати людей із лабораторії. Крім того, слід починати діяти, тільки якщо ви можете безпечно боротися з вогнем і маєте чіткий маршрут евакуації.

✓ *Викликати допомогу.* Попросіть когось зателефонувати до пожежного відділу 101 або зателефонуйте самостійно. Потрібно

викликати допомогу перед тим, як намагатися гасити вогонь. Пожежа може вийти з-під контролю швидше, ніж ви передбачаєте. Це мудро отримати допомогу, яка прямує до вас під час гасіння пожежі. Навіть якщо ви зможете погасити пожежу самостійно, краще мати поруч пожежників, якщо щось станеться.

✓ *Стати спиною в напрямку до виходу.* Перш ніж використовувати вогнегасник для подолання вогню, важливо вжити декілька заходів безпеки. Визначити найближчий вихід для евакуації перед наближенням до вогню. Розташуватись так, щоб ваша спина була спрямована до виходу, а обличчя в напрямку вогню. Тільки так. Ніколи не дозволяйте вогню, високій температурі або диму перешкодити евакуації. Ви можете не впоратися з вогнем, вогнегасник може бути несправним, також пожежа супроводжується задимленням і токсичними випаровуванням. Проте у вас завжди має бути простір для маневру – для евакуації або повторного застосування іншого вогнегасника. Також не завжди достатньо лише одного вогнегасника. Час роботи переносних вогнегасників залежно від їхнього розміру становить 10–20 с, не більше! Тому у випадку виникнення пожежі, наприклад у сусідній лабораторії, ви маєте бути готовими допомогти колегам у приборканні вогню.

✓ *Тримати дистанцію.* Більшість вогнегасників має діапазон дії від 2 до 4 м. Перед застосуванням вогнегасника, рухайтесь до вогню або від нього, щоб зайняти ефективну безпечну дистанцію, що становить від 2 до 3 м.

➤ **Гасіння вогню**

Приборкання вогню за допомогою вогнегасника полягає в застосуванні стратегії:

Висмикнути ⇒ Спрямувати ⇒ Натиснути ⇒ Гасити (BCHГ). Англomовний варіант стратегія PASS:

Pull ⇒ Aim ⇒ Squeeze ⇒ Sweep.

1. *Висмикнути* запобіжне кільце.

Вогнегасники мають запобіжне кільце безпеки біля важеля керування для запобігання випадковому розрядженню. Цей запобіжник

закріплений за допомогою пластикового ланцюжка, який легко розривається під натиском.

2. *Спрямувати* насадку-розпилювач, шланг або розтруб в основу вогню.

Спрямуйте безпосередньо в основу вогню, тому що ви повинні видалити паливо, яке горить. Не спрямуйте на полум'я – це не джерело вогню, і Ви не отримаєте значного ефекту. Нам необхідно видалити джерело вогню – паливо, а не полум'я, що є похідною вогню.

3. *Натиснути* на важіль керування подачі вогнегасної речовини. Під час натиснення на важіль починається подача вогнегасної речовини, вогнегасник розряджається. У деяких моделях попередньо необхідно натиснути кнопку активації пускового балона із пропелентом або інші засоби активації. Щоб припинити розрядження вогнегасника, відпустіть важіль.
4. *Гасити* вогонь, починаючи від його основи, рухами з боку в бік – "підмітати вогонь".

Гасіння вогню потрібно починати з безпечної відстані (2–3 м) від краю зони горіння (*периферії*) рухами з боку в бік, просуваючись вперед до центру вогнища, наче "підмітає" вогонь. Потрібно покривати вогнегасною речовиною всі палаючі поверхні. *Не варто* направляти вогнегасник у *центр* зони горіння, це може спричинити лише поширення вогню. Ніколи не повертайте спиною до вогню!



Рис. 4.9. Алгоритм гасіння вогню

4.8.3. Загальні аспекти під час гасіння пожежі в хімічній лабораторії

Після закінчення гасіння вогню за наявності вогнегасної речовини варто продовжити її видалення для охолодження нагрітих поверхонь. Переконайтесь у тому, що пожежу цілком ліквідовано, огляньте чи не залишились приховані ділянки, де вогонь може тліти. Спостерігайте за місцем де була пожежа впродовж щонайменше 30 хв, на випадок, якщо вогонь повторно спалахне.

Ніколи не намагайтесь боротися з вогнем, якщо в кімнаті є дим. Вдихання диму може призвести до знепритомнення, і ви залишитесь у приміщенні з вогнем. Найпростішим *ізолятором* органів дихання *від диму* є *волога ганчірка*, через яку певний час можна дихати, уникаючи прямого потрапляння диму в легені. Якщо у приміщенні багато диму, закрийте рот і спускайтесь на землю. Залишайтесь на низькому рівні, щоб уникнути диму та виповзайте з кімнати в напрямку до безпечного виходу.

У лабораторіях можуть бути вогнегасники рангу ВС(Е) – або вуглекислотний, або порошковий ВС(Е). Не використовуйте їх на пожежі класу А, оскільки вони можуть бути не такими ефективними, як вогнегасник класу А.

Якщо ви використовуєте порошкові вогнегасники на електронному обладнанні, такі як комп'ютери або лабораторні прилади, електроніка може бути серйозно пошкоджена. Вуглекислотний вогнегасник є кращим *"першим вибором"* вогнегасника для *електронного обладнання*, якщо у вас є вибір того, який вид вогнегасника використовувати. Більш імовірно, що ви використовуватимете будь-який доступний вогнегасник. Більшість електронних приладів у навчальній лабораторії є відносно недорогими, особливо у порівнянні з вартісним сучасним обладнанням, яке може коштувати сотні тисяч і навіть мільйони гривень. Гасіння вогню навіть ціною знищення обладнання, щоб запобігти "великій пожежі" з більшим пошкодженням, є головним пріоритетом.

Найпоширенішим вогнегасним агентом залишається вода, і вона чудово працює при пожежах класу А. Якщо в лабораторії горить шматок паперу, вода погасить вогонь. Проте не думайте, що перший великий стакан або колба з прозорою рідиною, які ви побачите – це вода! Це може бути легкозаймистий органічний розчинник і виливання його на вогонь класу А спричинить інший вогонь, тепер класу В.

Якщо вогнегасник було застосовано (навіть частково), його потрібно перезарядити або замінити якомога швидше. Не припустимо в лабораторії залишати частково використаний, порожній або пошкоджений вогнегасник. Вогнегасники повинні регулярно перевірятися, щоб забезпечити: вогнегасник не блокується меблями, дверцятами або будь-якими іншими предметами, що можуть обмежити доступ у надзвичайних ситуаціях; він правильно монтується на шляху виходу та подаль від джерел тепла; тиск перебуває на рекомендованому рівні.

У кожній лабораторії є вогнегасник, зазвичай біля дверей. Ви повинні завжди візуально оглядати будь-яку лабораторію, у якій ви працюєте, щоб побачити місця, де розміщені вогнегасники, а також визначити, до якого класу вони належать.

4.8.4. Як застосовувати пожежне покривало

Пожежне покривало (кошма) призначене для гасіння невеликих осередків вогню класу А, В і F, зокрема палаючі рідини й одяга на людині. Гасіння пожеж невеликої площі відбувається шляхом накривання полотнищем поверхні горючого матеріалу, ізолюючи її від доступу повітря.

Застосовувати покривало потрібно впевненими та виваженими діями: розгорнути, взяти руками за два сусідніх кути (кінці), руки сховати за покривалом зі свого боку, підійти до вогню, виставити покривало перед собою, і щільно накрити вогонь, рухаючи покривало від себе. Потім краї покривала потрібно ущільнити, щоб не потрапляло повітря, і залишити не менше ніж на 10 хв для охолодження. Назад повертатися, тримаючи в руках покривало, уже не можна, вогонь піде за вами. Не можна з відстані накидати покривало на вогонь – або промахнетесь, або поштовхом повітря спрямуєте вогонь на себе чи в бік, або потім не зможете підійти щоб ущільнити краї.

Гасіння палаючої одягу за допомогою пожежного покривала проводиться лише на лежачому потерпілому. Людину у вогні потрібно зупинити й "покласти" на підлогу будь-яким можливим способом. Покрити палаючий одяг пожежним покривалом. Якщо покривалом огорнути палаючу людину у вертикальному положенні, то може проявитися ефект "димиходу", який лише сприятиме горінню. Накривати потерпілого потрібно в напрямку від голови до ніг, щоб спрямувати гарячі гази в бік від голови. Водночас необхідно "збивати" вогонь, злегка поплескуючи руками поверх покривала.

4.8.5. Що робити, якщо ви у вогні

Якщо виникає інцидент, який спричиняє загоряння вашого одягу, є кілька способів розв'язати цю проблему. Горіння одягу або шкіри – це вогонь класу А. Важливо дуже швидко реагувати, найкраще рішення – миттєве, тому потрібно мати декілька доступних варіантів.

Сучасні лабораторії обладнані аварійним душем, який призначений насамперед для швидкого промивання всього тіла в разі будь-якого хімічного забруднення внаслідок розливу або

вибуху, також містить систему промивання очей (safety shower, див. рис. 4.12, дод. 4). Аварійний душ є надзвичайно ефективним і швидким способом гасіння палаючого одягу. Єдиним недоліком є відстань, яку потрібно подолати, щоб дістатися до нього. Бігати в палаючому одязі – дуже погана ідея – потік повітря збільшується, вогонь збільшується, розповсюджується, зокрема й по лабораторії, до того ж можна надихатися гарячими токсичними випарами. Отже, якщо аварійний душ справді поряд, використовуйте його. Якщо ні, *"зупинись, падай і перекочуйся"* (stop, drop, and roll), як описано нижче.

Також деякі лабораторії містять водопровідний кран з довгим гнучким шлангом, оснащений насадкою для промивання очей (drench hose, див. рис. 4.12, дод. 4). Для невеликої пожежі, це може бути ефективним варіантом і може дозволити постраждалому залишатися на підлозі, дозволивши потоку води швидко погасити вогонь.

Палаючий одяг можна погасити за методом *"зупинись, падай та перекочуйся"*, при якому постраждалий перекочується по підлозі. Водночас, оточуючим необхідно *"збивати"* наявний вогонь, починаючи з голови й рухаючись вниз по тілу. *"Збивати"* вогонь варто за допомогою підручних засобів, зокрема рушником, халатом, піджаком та ін. Не робіть цього голими руками або в рукавичках, це не так ефективно та й самі можете зазнати опіків.

У лабораторіях має обов'язково бути пожежне покривало (кошма). Цим негорючим покривалом огортають потерпілого на якому горить одяг, щоб погасити вогонь (див. розд. 4.8.4).

Дотримання загальних правил поведінки у лабораторії також зменшить імовірність того, що ви будете у вогні. Необхідно уважно працювати з відкритим вогнем (пальник Бунзена), легкозаймистими речовинами, активними металами та металоорганічними сполуками, окисниками й навіть елементарно – довге волосся має бути зібраним.

Чи можна використовувати переносний вогнегасник для гасіння палаючої людини? Теоретично, ні. Вогнегасник з CO₂ не призначений для гасіння пожежі класу А, також можливі обмороження відкритих ділянок тіла. Використання порошкових

вогнегасників наражає на небезпеку потерпілого під час потрапляння сухих хімічних вогнегасних речовин на слизові оболонки та в органи дихання. Проте будь-який із цих вогнегасників краще, ніж відсутність жодного іншого варіанту. Вони повинні використовуватися лише тоді, коли вода чи вогнезахисне покривало недоступні, а метод "зупинись, падай і перекочуйся" виявився неефективним.

4.8.6. Лабораторні пожежі й лабораторні витяжні шафи

То що ж ви повинні робити у випадку пожежі в лабораторії? Якщо вогонь невеликий, і ви вважаєте, що можете безпечно погасити вогонь, то це необхідно зробити. Проте ви повинні точно знати, що ви робите. Тобто, ви повинні бути готовими до таких надзвичайних ситуацій. Ви повинні знати, як керувати вогнегасником, і ви повинні знати, чи ваш вогнегасник підходить для цього класу пожежі. Незалежно від вашого рішення, пам'ятайте, що вогонь може швидко вийти з-під контролю. Якщо ваша безпека може бути під загрозою, то не намагайтеся гасити вогонь. Краще негайно евакуюватися!

Лабораторні витяжні шафи призначені для виведення газів, парів або аерозолів, які можуть виділятися під час лабораторних робіт. Вони працюють, витягуючи повітря з лабораторної кімнати, яке поступає від приточної вентиляції або з інших місць будівлі. Пам'ятаємо – повітря підтримує вогонь.

Якщо ви працюєте у витяжній шафі, у якій виникла пожежа – необхідно *закрити* витяжну шафу, опустивши фрамугу (передня рухома частина), *вимкнути витяжну шафу*, сповістити інших про надзвичайну ситуацію. Далі, залежно від "величини" вогню прийняти рішення про спосіб гасіння пожежі або евакуацію.

Тепер детально розглянемо наведений вище алгоритм дій під час виникнення загоряння у витяжній шафі, зокрема, аналізуючи Тетраedr вогню. Пожежа у витяжній шафі в навчальній лабораторії, зазвичай пов'язана з горінням органічних розчинників, це **клас В**. Наші дії, які бажано виконувати одночасно:

- *Обмежити доступ повітря* (окисник) – закрити витяжну шафу, вимкнути витяжну шафу й застосувати первинні засоби

пожежогасіння. Нам уже відомо, що потрібен або *вуглекислотний*, або *порошковий* вогнегасники й жодної води! Не варто вимикати витяжну шафу, якщо горіння супроводжується значним задимленням і виділенням токсичних газів. Це може ускладнити як процес гасіння, так і евакуацію оточуючих.

- *Ізолювати горючий матеріал* (паливо) – прибрати з витяжної шафи ємності з горючими рідинами, якщо "величина" вогню дозволяє це зробити. Наприклад, каністра з гексаном поряд із невеликим полум'ям приховує в собі дуже велику небезпеку. Витяжна шафа – не місце для зберігання розчинників.
- *Прибрати джерело займання*. Джерелом загоряння у витяжній шафі може бути електрична іскра, газовий пальник, електричні нагрівальні прилади, екзотермічна хімічна реакція. Логічні дії – *вимкнути подачу газу* та *знеструмити* витяжну шафу.

Варто зазначити, прості правильні рішення дозволяють уникнути складних наслідків. Декілька мілілітрів палаючого розчинника іноді краще не чіпати, він спокійно догорить, або накрити відповідним підручним засобом. Якщо розчинник загорівся у стакані або колбі, їх також необхідно накрити, обмеживши доступ повітря. Проте потрібно бути готовим до того, що ситуація може погіршитися в будь-який момент.

До речі, у більшості лабораторій біля виходу розміщено пусковий рубильник витяжної шафи, електричний рубильник, первинні засоби пожежогасіння. Ви маєте знати *що* й *де* розташовано у вашій лабораторії, пожежа – не вдалий час це вивчати.

4.8.7. Концепція безпеки

Це досить коротке знайомство з пожежною безпекою, написано як відповідний вступ до лабораторного практикуму в хімічні лабораторії. Прочитаний вами матеріал безумовно корисний у теоретичному й певною мірою у практичному плані. Тепер ви добре орієнтуєтесь у процесі горіння, класах пожеж, типах вогнегасників і вогнегасних речовин, а також як це все між собою пов'язано. Практичні заняття допоможуть закріпити

отримані знання. Однак у реальній критичній ситуації у вас обмаль часу. "З книжкою в руках" вогонь не гасять, хоча самою книжкою це можливо. Усе ж таки, ви в хімічній лабораторії, у вас два варіанти – евакуація або боротьба із загоранням. Обираючи останнє, ви маєте знати де розміщені вогнегасники (нагадуємо, що це буде або *вуглекислотний* або *порошковий*), знати як ними користуватись і завжди пам'ятати про евакуацію.

У багатьох ситуаціях цілком доречно ввімкнути пожежну сигналізацію й зателефонувати 101, навіть якщо через декілька хвилин ця ситуація перебуває під контролем, і немає подальшої небезпеки. Пожежники не люблять фальшивих викликів, але пожежники адекватно реагують, коли трапляється справжня критична ситуація, яку було подолано перед тим, як вони прибули. Коли прибувають пожежники, вони можуть перевірити чи правильно погашено пожежу. Лише тому, що щось виглядає безпечно, не обов'язково означає, що це так. Завжди можна з упевненістю вважати, що статися може найгірше, коли щось відбувається не так, і вживати необхідних заходів для того, щоб убезпечити себе й інших.

Для максимально ефективних дій під час надзвичайної ситуації або для запобігання її виникнення у вас має бути сформований і усвідомлений чіткий алгоритм дій.

Для цього була запропонована концепція алгоритму безпеки **RAMP** (Recognize, Assess, Minimize, Prepare):

Розпізнайте небезпеку.

Оцініть ризики небезпеки.

Мінімізуйте ризики небезпеки.

Будьте готові до надзвичайних ситуацій.

- Концепція безпеки **RAMP** (**РОМБ**) може використовуватися для *аналізу пожежної небезпеки* та способів *підготовки* до надзвичайної ситуації, пов'язаної з пожежею.
- ✓ *Розпізнайте* в лабораторії легкозаймисті та горючі матеріали, особливо органічні розчинники. *Розпізнати* будь-яке електричне обладнання, яке може спричинити

пожежну небезпеку або наявність будь-яких активних металів.

- ✓ *Оцініть* ризик пожежної небезпеки, оглядаючи кількість матеріалів і можливих джерел займання.
- ✓ *Мінімізуйте* ризик, використовувати належним чином легкозаймисті рідини й активні метали та перевіряти електрообладнання.
- ✓ *Будьте готовими* до надзвичайних пожежних ситуацій, дізнавшись, де розташовані вогнегасники, як їх використовувати, а також місця виходу та пожежної сигналізації.

➤ Застосування концепції **RAMP** під час *виникненні пожежі*

- ✓ *Розпізнайте*, які існують види вогнегасників для боротьби з чотирма класами вогню.
- ✓ *Оцініть* клас вогню, щоб вибрати правильний вогнегасник.
- ✓ *Мінімізуйте* ризик травми, обравши правильний вогнегасник для пожежі – якщо вогонь невеликий і ви можете безпечно гасити вогонь без ризику для себе.
- ✓ *Будьте готовими* до надзвичайних пожежних ситуацій: дізнатися, де розташовані вогнегасники, як керувати вогнегасниками, який вогнегасник потрібен для боротьби з конкретним вогнем.

Розділ 5. Основи електробезпеки

У сучасних хімічних лабораторіях дуже часто використовують різноманітне електроустаткування. До нього належать різні електронагрівальні прилади потужністю від декількох ват до десятків кіловат, джерела електричного струму, зокрема гальванічні елементи й батареї, акумулятори, перетворювачі струму, блоки живлення, електроплитки, сушильні шафи і термостати, електропечі, прилади з електронагрівом для випарювання, перегонки та висушування. Також у лабораторіях застосовуються різноманітні електродвигуни як малої потужності, наприклад для лабораторних мішалок, так і потужні – для механічних вакуумних насосів (до 1,1 кВт), центрифуг (до 2,0 кВт) і компресорів, витяжних шаф, прилади для оптичного, спектрального, рентгеноструктурного, хроматографічного та інших видів аналізу.

Отже, у лабораторії завжди існує небезпека ураження електричним струмом. Варто зазначити, електрика є не лише джерелом небезпеки для життя та здоров'я людини, а також фактором пожежної небезпеки. Несправне електрообладнання є потенційним джерелом виникнення пожежі. Особлива небезпека обумовлена можливістю впливу на електрообладнання хімічно активного середовища, адже перебіг хімічних реакцій часто супроводжується виділенням шкідливих для електроустаткування кислотних газів і парів – оксидів азоту, галогеноводнів, діоксиду сірки. Коротке замикання, іскра, несправність приладів – можуть спричинити в лабораторії пожежу класу (Е), а фактично стати джерелом загоряння або вибуху. Небезпека ураження людей електричним струмом під час роботи підвищується у зв'язку з можливістю одночасного дотику до металевих корпусів електрообладнання й заземлених водопровідних і газових комунікацій.

5.1. Дія електричного струму на організм людини

Під час дії електричного струму на людину виникають ураження двох видів: *електротравми та електричні удари*.

Електротравмами називають місцеві пошкодження тканин організму, викликані впливом електричного струму або електричної дуги. Найбільш поширеним різновидом електротравм є *електричні опіки*, зумовлені термічним впливом струму або електричної дуги. До *електротравм* також належать *електрофтальмію* (ураження очей інтенсивним ультрафіолетовим випромінюванням електричної дуги), а також механічні пошкодження, які є наслідком різких судомних скорочень м'язів під дією електричного струму.

Електричний удар – це збудження живих тканин організму електричним струмом, що супроводжується судомним скороченням м'язів. Залежно від сили впливу електричні удари прийнято умовно поділяти на чотири ступені:

- I – судомні скорочення м'язів без втрати свідомості;
- II – судомні скорочення м'язів з втратою свідомості, але зі збереженням дихання й роботи серця;
- III – втрата свідомості, порушення дихання та/або серцевої діяльності;
- IV – клінічна смерть, що виникає внаслідок припинення дихання, припинення роботи серця або електричного шоку, тобто ураження центральної нервової системи.

Клінічна смерть – це перехідний період від життя до смерті, що настає з моменту зупинки серцевої діяльності та легенів і триває 6–12 хв, доки не загинули клітини головного мозку. Після цього настає біологічна смерть, унаслідок якої припиняються біологічні процеси у клітинах і тканинах організму та відбувається розпад білкових структур.

Якщо у стані клінічної смерті потерпілому своєчасно надати кваліфіковану допомогу (штучне дихання й закритий масаж серця), то дихання і кровообіг можуть відновитися, або продовжиться період клінічної смерті до прибуття медичної допомоги.

Закритий масаж серця не приводить, практично, до відновлення його роботи за наявності фібриляції серця – неупорядковані скорочення м'язів серця, які не сприяють циркуляції крові. Лише застосування медпрепаратів і дефібриляторів може призвести до відновлення роботи серця під

час фібриляції. Отже, під час фібриляції серця закритий його масаж сприяє лише подовженню періоду клінічної смерті.

Крім електричних ударів, одним із різновидів загальних електротравм є *електричний шок* – тяжка нервово-рефлекторна реакція організму на подразнення електричним струмом. При шоці виникають глибокі розлади нервової системи і, як наслідок цього, розлади систем дихання, кровообігу, обміну речовин, функціонування організму загалом, а життєві функції організму поступово згасають. Такий стан організму може тривати від десятків хвилин до доби й закінчитись або одужанням за умови активного лікування, або смертю потерпілого.

5.2. Фактори, що впливають на наслідки ураження електричним струмом

Наслідки ураження електричним струмом залежить від різних факторів електричного та неелектричного характеру. Найважливіші з них: параметри струму й електричного кола – вид струму, частота, напруга, опір людини; умови ураження – тривалість дії струму, шлях проходження струму через тіло людини; фізіологічний і психологічний стан організму в момент ураження – вологість шкіри, стать, вік, хвороби, стомлення, ослаблення уваги; фактори зовнішнього середовища – температура, вологість, атмосферний тиск, парціальний склад повітря, електричні й магнітні поля, забруднення повітря.

Однак, навіть знаючи точні численні значення кожного з факторів, передбачити результат впливу струму на організм можна лише з певним ступенем імовірності, адже живий організм є надзвичайно складною системою.

Із розв'язанням питань електробезпеки важливо орієнтуватися не на усереднені дані про дію струму на організм, а на мінімальні, порогові значення струму, напруги й інших параметрів ланцюга, які за несприятливих умов можуть виявитися причиною ураження.

Сила струму, що проходить крізь тіло людини є основним фактором, який обумовлює наслідки ураження. Прояви дії електричного струму на організм людини залежно від його величини та виду наведені в табл. 5.1 (див. дод. 5).

Таблиця 5.1

Вплив електричного струму на організм людини

Струм, мА	Характер впливу	
	<i>Змінний струм 50–60 Гц</i>	<i>Постійний струм</i>
0,6–1,5	Початок відчуття – легке тремтіння рук	Не відчувається
2–3	Сильне тремтіння пальців рук	Не відчувається
5–7	Судоми м'язів рук	Сверблячка, відчуття тепла
8–10	Руки можливо (але важко) відірвати від електродів. Сильний біль у пальцях, кистях рук	Посилення відчуття тепла та нагрівання
20–25	Миттєвий параліч рук, відірватися від електродів неможливо. Сильний біль. Важко дихати.	Ще більше посилення відчуття тепла. Незначні скорочення м'язів рук.
50–80	Параліч дихання. Початок фібриляції серця.	Сильне відчуття тепла. Скорочення м'язів рук. Судоми, важко дихати.
90–100	Параліч дихання. Упродовж 3 с і більше настає параліч серця.	Параліч дихання

Струм (змінний і постійний) *більше 3–5 А* викликає миттєву *зупинку серця*, минаючи стан фібриляції. Отже, чим більший струм проходить крізь тіло людини, тим більшою є небезпека ураження.

Розрізняють три основні порогові значення сили струму: *відчутний, невідпускаючий, фібриляційний*. Порогові значення сили струму під час його проходження крізь тіло людини найбільш імовірним шляхом "рука-рука" або "рука-ноги" наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Порогові значення електричного струму

Вид струму	Величина струму, мА	
	Змінний (50 Гц)	Постійний
Пороговий відчутний	0,5–1,5	5,0–7,0
Пороговий невідпускаючий	10–15	50–80
Пороговий фібриляційний	80–100	300

Пороговий відчутний струм не є безпосередньо небезпечним для здоров'я людини. Однак несподіваний удар струмом викликає мимовільне відсмикування рук, що може спричинити, наприклад, пошкодження лабораторних установок зі скла або проливання вогнебезпечних та агресивних рідин. Тому, в умовах хімічної лабораторії вплив на людину будь-якого відчутного струму є небезпечним.

Дуже важливою величиною є *пороговий невідпускаючий струм*, тобто мінімальний струм, проходження якого через кисть руки викликає настільки сильні судомні скорочення м'язів, що людина не може самостійно звільнитися від затисненого в руці провідника.

Особливу небезпеку становлять струми вище порогових невідпускаючих. За умови протіканні через тулуб людини струму силою 25–50 мА (найбільш імовірні шляхи: рука-рука, рука-ноги тощо, рис. 5.1) дуже ускладнюється дихання й робота серця.

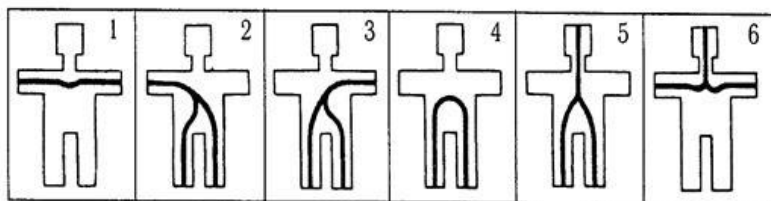


Рис. 5.1. Напрямки протікання струму через тулуб людини

Якщо тривалість дії струму не перевищує декількох секунд, дихання, зазвичай нормалізується. Якщо ж потерпілий сам не в змозі розірвати ланцюг, а допомогу надати нікому (наприклад,

потерпілий, порушуючи техніку безпеки, працював у приміщенні один), незабаром він знепритомніє, а через 3–4 хв можлива смерть від зупинки дихання. За тривалого протікання струму силою 50–80 мА через ділянку серця відбуваються небезпечні порушення серцевої діяльності.

Пороговий фібриляційний струм, що міститься в межах 80–100 мА, викликає фібриляцію серця й параліч дихання через 2–3 с.

Наведеним даним не суперечать факти порівняно благополучних наслідків за умови ураженні великими струмами. Так, за короткочасної (менш 0,20–0,25 с) дії струму силою від декількох сотень мА до 3–5 А вирішальним фактором, що впливає на результат ураження, є фаза кардіоциклу. У різні періоди кардіоциклу серце неоднаково вразливе до зовнішніх подразників. Фібриляція найбільш імовірна, якщо електричний удар за часом збігається з вразливою для серця фазою Т кардіоциклу (фазою розслаблення серцевих м'язів), що становить близько 150–200 мс. Під час дії струму на серцевий м'яз поза цим періодом фібриляція менш імовірна.

Струми силою понад 5 А, незалежно від фази кардіоциклу, викликають не фібриляцію серця, а одночасне скорочення всіх волокон серцевого м'яза й зупинку дихання. Якщо дія струму була короткочасною та не викликала пошкодження серця, то після відключення струму діяльність серця може відновитися самостійно. Для відновлення дихання в таких випадках потрібно, зазвичай застосовувати штучне дихання (див. розд. 3.1, 3.4).

Гранично допустимий струм через людину за умови нормального (неаварійного) режиму роботи електроустановки не повинен перевищувати **0,3 мА** для *змінного* струму і **1 мА** для *постійного*.

Хоча дія електричного струму на організм характеризується його силою, практично виміряти цю величину можна лише експериментально. В умовах реального ураження значення діючих струмів можуть лише розраховуватися, для чого необхідно знати напругу ланцюга й опір тіла людини. Сила струму **I**, що проходить через тіло людини залежить від значення прикладеної напруги **U** й опору людини **R**, відповідно до закону

Ома: $I = U / R$. Чим вище значення напруги та менше значення опору людини, тим більша небезпека ураження електричним струмом.

Гранично допустима напруга для людини за нормального (неаварійного) режиму роботи електроустановки не повинна перевищувати **2–3 В** для *змінного* струму і **8 В** для *постійного*. *Умовно безпечною* для людини вважається напруга до **42 В**.

Визначення мінімального значення опору тіла людини необхідно для розв'язання найважливішого питання електробезпеки: які мінімальні значення напруги, за умови включення в ланцюг тіла людини, можуть створити струми, що викликають небезпечні ураження.

Опір людського тіла – величина непостійна. Він залежить, в основному, від стану шкіри й центральної нервової системи. Найбільшим опором володіє суха непошкоджена шкіра, особливо її зовнішній ороговілий шар епітелію (епідерміс). На різних ділянках тіла залежно від товщини епідермісу, ступеня наповнення капілярів кров'ю, кількості потових залоз і інших чинників опір шкіри складає від десятків до сотень кОм. Ураховуючи багатофункціональну залежність опору тіла людини від великої кількості чинників, з оцінюванням умов небезпеки ураження людини електричним струмом *опір тіла людини* умовно приймають рівним **$R = 1000 \text{ Ом}$** .

Зволоження, забруднення та пошкодження шкіри (порізи, подряпини тощо) різко знижують її захисні властивості. В умовах лабораторії забруднення рук електролітом, зволоження долонь унаслідок потовиділення, тривале перебування рук у теплій воді (наприклад, під час миття посуду) або високої вологості (наприклад, за тривалої роботи в гумових рукавичках) викликає набухання рогового шару шкіри і зниження опору в десятки разів.

Опір тіла людини залежить від її статі та віку: у жінок він менший, ніж у чоловіків, у дітей менший, ніж у дорослих, у молодих людей менший, ніж у літніх. Спричинюється така залежність товщиною і ступенем огрублення верхнього шару шкіри.

Зі збільшенням докладеної напруги, площі контакту, частоти струму та часу його дії опір тіла людини зменшується до певного

мінімального значення (0,5–0,7 кОм). Так, якщо при напрузі в декілька вольт опір тіла людини перевищує 10000 Ом, то при напрузі 100 В він знижується до 1500 Ом, а при напрузі більше 1000 В – до 300 Ом.

Електропровідність шкіри, як і всього організму загалом, обумовлена не лише фізико-хімічними, але можливо, навіть, здебільшого біофізичними й біохімічними факторами. Так, опір шкіри знижується вдвічі й більше під дією фізичних подразників – різкого звуку, світлового спалаху, спалаху легкого удару, а також під впливом емоційних станів. Опір тіла людини зменшується також за умови захворюваннях шкіри, центральної нервової та серцевосудинної систем, проявах алергічної реакції тощо.

Вид та частота струму, що проходить через тіло людини, також впливають на наслідки ураження. *Постійний струм* приблизно в 4–5 разів безпечніший за *змінний*, що підтверджують дані табл. 5.1. Це пов'язано з тим, що постійний струм порівняно зі змінним промислової частоти такого ж значення викликає більш слабші скорочення м'язів і менш неприємні відчуття. Його дія, в основному, теплова. Однак, варто зауважити, що вищезазначене стосовно *порівняльної небезпеки постійного та змінного струму* є справедливим лише для напруги до **500 В**. За більш високих напруг постійний струм стає небезпечнішим ніж змінний.

Частота змінного струму також має важливе значення. Так, найбільш *небезпечним* вважається змінний струм частотою **20–100 Гц**. Із частотою меншою ніж 20 або більшої за 100 Гц небезпека ураження струмом помітно зменшується. Струм частотою понад 500 кГц не може смертельно уразити людину, однак дуже часто викликає опіки.

Тривалість дії струму на організм людини істотно впливає на наслідки ураження: чим більший час проходження струму, тим швидше виснажуються захисні сили організму, водночас опір тіла людини різко знижується і важкість наслідків зростає. Підвищується вірогідність збігу максимального імпульсу струму через серце з фазою Т кардіоциклу (фазою розслаблення серцевих м'язів), що загалом призводить до більш важких

уражень. Наприклад, для змінного струму частотою 50 Гц гранично допустимий струм при тривалості дії 0,1 с становить 500 мА, а при дії протягом 1 с – вже 50 мА (див. дод. 5).

Шлях проходження струму через тіло людини є важливим чинником. Небезпека ураження особливо велика тоді, коли на шляху струму перебувають життєво важливі органи – серце, легені, головний мозок. Існує багато можливих шляхів проходження струму через тіло людини (петлі струму), найбільш поширені й небезпечні серед них: рука-рука, права рука-ноги, ліва рука-ноги.

Індивідуальні особливості людини значною мірою впливають на наслідки ураження електричним струмом. Струм, ледь відчутний для одних людей, може бути невідпускаючим для інших. Для жінок порогові значення струму приблизно в півтора рази нижчі, ніж для чоловіків. Як вже зазначали, ступінь впливу струму істотно залежить від стану нервової системи та всього організму загалом. Так, у стані нервового збудження, депресії, сп'яніння, захворювання (особливо при захворюваннях шкіри, серцево-судинної та центральної нервової систем) люди значно чутливі до дії на них струму. Важливе значення має також уважність і психічна готовність людини до можливої небезпеки ураження струмом. Експериментально встановлено, що якщо людина чітко усвідомлює загрозу можливості потрапити під напругу, то при реалізації цієї загрози значення порогових струмів на 30–50 % вищі. У переважній більшості випадків несподіваний електричний удар призводить до важчих наслідків, ніж з усвідомленням людиною існуючої небезпеки ураження.

Умови довкілля можуть підвищувати небезпеку ураження людини електричним струмом. Так у приміщеннях із високою температурою та відносною вологістю повітря наслідки ураження можуть бути важчими, оскільки значне потовиділення для підтримання теплобалансу між організмом і довкіллям, призводить до зменшення опору тіла людини.

5.3. Захист від ураження електричним струмом

Ураження людини електричним струмом відбувається за ряду обставин. Відсутність або порушення заземлення приладу. Поява

електричної напруги на корпусі приладу внаслідок замикання на корпус або пробією на корпус. Одночасний дотик з одного боку – до корпусу пошкодженого приладу, до струмопровідних частин із порушеною ізоляцією, до неізольованих струмопровідних частин і з другого боку – до заземленого обладнання (інший електроприлад зі справним заземленням, водопровідні чи газові труби, опалювальні батареї, металеві витяжні шафи), до інших струмопровідних частин, до вологої підлоги. Унаслідок цього виникають петлі струму через тіло людини. Фактично людина підключається до електричної мережі, утворюючи електричне коло з власними параметрами – сили струму, напруги й опору. Водночас, важкість ураження у всіх перерахованих вище випадках визначатиметься величиною струму, що проходить через тіло людини.

5.4. Небезпека замикань на землю. Напруга дотику та кроку

Замикання на землю може відбутись під час пошкодження ізоляції та переході фазної напруги мережі на заземлені корпуси електроустановок, у процесі падіння на землю провода під напругою тощо. Під час проходження струму по землі на її поверхні виникає специфічне поле потенціалів, характер якого визначається конструкцією заземлювача, властивостями ґрунту тощо. Зазвичай зона підвищених потенціалів на поверхні землі обмежується колом із радіусом близько 20 м. Людина, що стоїть на землі чи на струмопровідній підлозі в зоні потенціалів і торкається при цьому до заземлених струмопровідних частин (наприклад, корпус пошкодженого обладнання), опиняється під *напругою дотику*. Якщо ж людина стоїть чи проходить через зону потенціалів, то вона може опинитися під *напругою кроку*, коли її ноги розташовані в точках із різними потенціалами. В обох випадках можливе ураження людини електричним струмом (див. дод. 5).

Із наближенням до заземлювача величина *напруги кроку* зростає і при напрузі мережі живлення 0,4 кВ вона може бути небезпечною для людини. Тому, за наявності замикання на землю **забороняють** наближатися до місця замикання ближче **8 м поза**

приміщеннях і 4 м у приміщенні без застосування засобів захисту – діелектричні боти, калоші, суха дошка тощо.

Напруги кроку може спричинити судомні скорочення м'язів ніг, що призводить до падіння людини та потрапляння під дію більшої різниці потенціалів. Загалом заходи захисту людини від дії напруги кроку зводяться до розірвання мережі струму через людину по петлі "нога-нога", або до різкого збільшення опору в цій петлі за рахунок використання різних підручних засобів. Переміщуватись у зоні підвищених потенціалів потрібно дрібними кроками, не відриваючи ступні ніг від землі й одну від одної (рис. 5.2).

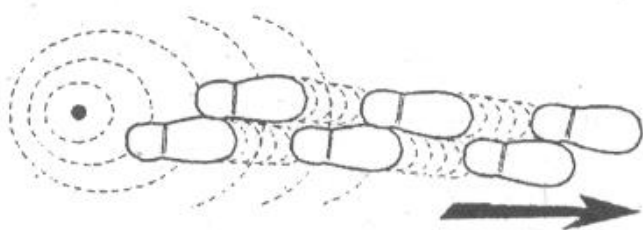


Рис. 5.2. Вихід із зони замикання обірваного проводу на землю

5.5. Система засобів і заходів електробезпеки

Варто зазначити, що електрика є не лише джерелом небезпеки для життя та здоров'я людини, але й фактором пожежної небезпеки. Коротке замикання, іскра, несправність приладів – можуть спричинити в лабораторії пожежу класу (Е), а фактично стати джерелом загоряння або вибуху.

Електробезпеку в хімічній лабораторії можна розділити на три умовних пункти: системні заходи щодо безпечної експлуатації електроустановок, запобіжні заходи під час роботи в лабораторії й порядок надання допомоги під час ураження електричним струмом.

Основними заходами запобігання уражень електричним струмом у лабораторіях є захист від дотику до частин електрообладнання, що перебувають під напругою; застосування захисного заземлення, захисного вимкнення та малих напруг.

Ефективний спосіб захисту полягає в ізоляції струмопровідних частин електроустановок, а саме в застосуванні додаткової ізоляції шляхом виготовлення корпусів і рукояток електроустаткування з діелектричних матеріалів (пластмасовий або прогумований корпус). Водночас необхідно систематично проводити профілактичні огляди та випробовування ізоляції, оскільки механічні пошкодження, волога, перегрівання, хімічні впливи суттєво зменшують захисні властивості ізоляції. Наприклад, найбільш уразливі місця частого згину електропроводу розташовуються біля штепсельної вилки та безпосередньо біля корпусу приладу. Пошкодження ізоляції біля штепсельної вилки виникають також унаслідок значних механічних навантажень під час висмикування вилки за шнур, що може призвести до обриву дротів. Електрична дуга, що виникає внаслідок обриву, призводить до перегорання ізоляції, часто спричиняючи болючі опіки кистей рук. Небезпека пошкодження ізоляції з'єднання електропроводу з корпусом приладу пов'язана з можливістю контакту оголеного дроту з електропровідним корпусом і як наслідок – з появою напруги на корпусі. Електропровід повинен бути захищений пружною ізолюючою втулкою в місці з'єднання електропроводу з корпусом приладу.

Захисне заземлення реалізується у вигляді спеціального електричного з'єднання із "землею" металевих неструмопровідних частин електроустановок, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції або інших аварійних випадків. Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб у випадку появи напруги на металевих конструктивних частинах електроустаткування забезпечити захист людини від ураження електричним струмом при її торканні до цих частин. Це досягається шляхом зниження значень напруг дотику та кроку до безпечних і спрацьовування автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення.

Захисне занулення можна розглядати як різновид заземлення. Занулення – це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою. Нульовий захисний провідник – провідник, який з'єднує частини, що підлягають зануленню, із

заземленою нейтральною точкою джерела струму або її еквівалентом. На практиці реалізується все досить просто. Більшість сучасних приладів мають захисне занулення (заземлення). Є штепсельні вилки або розетки, які містять відповідно два основних штекери або гнізда – фазний і нульовий провідники, а також додатковий контакт – власне захисний нульовий провідник. Відповідно шнур від приладу містить три проводи, а внутрішня електрична мережа теж має бути трипровідною – фазовий і робочий нульовий проводи, а також захисний нульовий провід, що відповідає проводу заземлення. При увімкненні приладу в мережу, одночасно відбувається його заземлення. У процесі занулення усувається небезпека ураження людини під час пробію на корпус приладу однієї фази мережі електричного струму. У випадку замикання фази мережі на корпус електроустановки виникає однофазне коротке замикання, тобто замикання між фазним і захисним нульовим проводами. Унаслідок цього електроустановка автоматично вимикається апаратом захисту від струмів короткого замикання (перегорають плавкі запобіжники чи спрацьовують автоматичні вимикачі). Так забезпечується захист людей від ураження електричним струмом.

Захисне відключення застосовується в доповнення до захисного заземлення (занулення) для забезпечення надійного захисту людини від ураження електричним струмом, для запобігання загорянь і пожеж. *Автоматичний вимикач, пристрій захисного відключення й диференційний автоматичний вимикач* є складовими елементами захисного автоматичного відключення локальної електромережі при пошкодженні ізоляції, короткому замиканні та переході напруги на корпус електроприладу.

Автоматичний вимикач (автомат) використовується для захисту від короткого замикання та перевантаження електромережі. Тобто, коли струм у мережі стає більшим за номінальний струм автомата – пристрій відключає живлення. *Пристрій захисного відключення (ПЗВ)* контролює параметри електричної мережі, зокрема контролює різницю струмів на вході та виході. Якщо десь порушена ізоляція і є витік струму, то ПЗВ відразу вимикає електричне коло. У свою чергу *диференційний автоматичний вимикач (дифавтомат)* є більш функціональним

пристроєм, адже *дифавтомат* не лише захищає від ураження струмом, а й захищає нас від коротких замикань і перевантажень, так само, як і автоматичний вимикач. Дифавтомати також роз'єднують електричне коло в разі перевищення певних порогів струмів. *Дифавтомат* – це пристрій, який поєднує у собі властивості автоматичного вимикача та *ПЗВ* в одному компактному корпусі.

Отже, заземлення та занулення корпусів електроустановок у комплексі з використанням пристроїв захисного відключення є ефективним заходом електробезпеки.

Проте, незважаючи на наявність сучасних захисних електропристроїв, основним запобіжним заходом під час роботи з електрообладнанням у навчальній хімічній лабораторії – мають бути уважність та акуратність під час роботи з усіма електроприладами, у процесі контролю якості ізоляції електропроводів, а також сумлінне виконання всіх правил техніки безпеки. Не працювати з мокрими руками або на вологій підлозі, зразу ж вимикати прилади, якщо вони працюють із нехарактерним звуком, або з'являється ледь помітний запах горілої електропроводки. Для цього потрібно знати, де в лабораторії розміщені панелі управління електроенергією (рубильники, вимикачі), а також вчасно сповіщати викладача або відповідального інженера про виявлені вами порушення в роботі приладів.

Розділ 6. Джерела нагрівання

Для проведення різних експериментальних робіт у лабораторії найчастіше використовується процес нагрівання. Тому джерела нагрівання зазвичай є найбільш вживаними і завжди існує в них потреба. Поширеними нагрівальними приладами, що можуть застосовуватися в лабораторіях, є пальники Бунзена, муфельні печі, сушильні шафи, нагрівальні плитки, кожухи, масляні бані, сольові бані, піщані бані, повітряні бані, водяні бані, теплові пістолети (фени) та мікрохвильові печі.

Натепер у хімічних лабораторіях електронагрівальні прилади здебільшого витіснили газові пальники. Серед переваг

електронагрівальних приладів не останнє місце займає менша, порівняно з газовими пальниками, пожежна небезпека під час експлуатації. Однак, як показує практика, недотримання елементарних правил безпеки під час роботи навіть з електронагрівальними приладами призводить до різкого збільшення ймовірності виникнення пожеж, аварій і нещасних випадків.

Пожежна небезпека електронагрівальних приладів може пов'язуватися з високою температурою, присутністю горючих або легкозаймистих речовин і матеріалів робочій зоні, способом підведення тепла, конструкцією самих нагрівальних приладів, із можливістю виникнення короткого замикання, електричної дуги, займання ізоляції тощо. І якщо контакт з гарячими поверхнями, киплячою рідиною, парами може спричинити опіки лише в користувача, то пожежі і вибухи можуть спричинити травми в інших працюючих у лабораторії та завдати шкоди обладнанню.

Загальні заходи безпеки під час роботи з електричними нагрівальними приладами

Працюючи з нагрівальними приладами потрібно дотримуватися таких правил.

Одне з головних правил – це не залишати прилади без нагляду під час проведення експерименту, адже пожежі та вибухи часто можуть бути наслідком значного підвищення температури реакції через зміну напруги в мережі, випадкової втрати розчинника реакції або охолодження.

Нагрівальний елемент будь-якого лабораторного нагрівального приладу повинен бути ізольований так, щоб запобігти випадковому дотику співробітника лабораторії або будь-якого металевого провідника до проводів, що проводять електричний струм.

Зношені або пошкоджені нагрівальні прилади варто негайно ремонтувати або відмовлятися від користування ними.

Для управління вхідною напругою слід використовувати змінний автотрансформатор, що подає лише частку від загальної лінійної напруги (зазвичай, 220 В).

Зовнішні корпуси всіх змінних автотрансформаторів варто розташовувати в безпечних місцях, подалі від води, хімічних речовин, горючих рідин і парів.

Під час роботи в лабораторії варто використовувати пристрої аварійного захисту електромережі, які відключають електроенергію, якщо температура нагрівального приладу перевищує деяку задану межу або якщо подача охолоджувальної води через холодильник припиняється через втрату тиску води або пошкодження шлангу подачі води до холодильника.

6.1. Пальник Бунзена

Пальник Бунзена – це звичайний і зручний засіб для нагрівання рідин у пробірках, колбах і маленьких стаканах. Однак відкритий вогонь може призвести до пожеж і вибухів, якщо таке нагрівання проводити в безпосередній близькості від легкозаймистих рідин або вибухонебезпечних матеріалів. У таких випадках пальники Бунзена замінюють іншими нагрівальними приладами.

6.2. Нагрівальні плитки та магнітні мішалки з нагріванням

Електричні плитки – це найпоширеніші нагрівальні прилади в лабораторній практиці. Вони використовуються для нагрівання розчинів до 100 °С або вище.

Із погляду пожежної безпеки в лабораторії потрібно використовувати електричні плитки лише із закритою спіраллю.

Перед використанням слід перевірити стан нагрівальної плитки. Переконалися, що на поверхні плитки не має розливів, тріщин або будь-яких інших пошкоджень, перевірити стан вимикача й біметалічного термостата, який використовується для регулювання температури, адже їхня несправність може призвести до виникнення електричної іскри та перегрівання реакційної суміші внаслідок постійної подачі повного струму на гарячу плиту. Поверхня плиток може розігріватися до **400 °С**. Цієї температури досить для займання не лише парів ЛЗР, а й більшості масел, що використовуються для заповнення рідинних

бань, у разі потрапляння їх безпосередньо на нагріту поверхню. Так, температура самозаймання високотемпературного масла-теплоносія АМТ-300 становить 290 °С, гліцерину – 362 °С.

Один з обов'язкових запобіжних заходів під час нагрівання ЛЗР – використання рідинних бань. Діаметр бані повинен бути не меншим діаметра нагрівального елемента плитки – виконання цієї вимоги дозволяє запобігти можливості випадкового потрапляння горючих рідин (ГР) або парів безпосередньо на поверхню плитки.

Шнур живлення під час роботи не повинен розміщуватися близько до нагрівальної плити.

6.3. Нагрівальні кожухи

Один з найпопулярніших і найбезпечніших методів нагрівання реакційної суміші під час проведення експериментальних робіт – це **нагрівальний кожух**, гнучка оболонка зі скловолокна, яка відповідає формі реакційної колби. Більшість нагрівальних кожухів мають напівсферичну конструкцію та використовуються для нагрівання круглодонних колб і хімічних реакторів різних розмірів, від 50 мл до 5000 мл або більше.

Ці кожухи містять резистивні нагрівальні елементи в шарі ізоляційного матеріалу зі скловолокна.

Нижче показано три приклади нагрівальних кожухів. Варіант *а*) представлений оболонкою, яка підтримує колбу, *б* – півсферичною зовнішньою алюмінієвою оболонкою, *в* – гнучкою конструкцією зі склопластику. Більшість хіміків віддають перевагу останнім двом типам (*б, в*), оскільки їх найпростіше використовувати в поєднанні з **магнітною мішалкою**. Комбіновані нагрівальні кожухи з магнітним перемішуванням (*г*) також доступні, але дещо дорожчі:



Рис. 6.1. Приклади нагрівальних кожухів

Деякі нагрівальні кожухи можуть складатися з двох частин, які зв'язуються разом, щоб вмістити майже всю колбу, за винятком горла (д), але вони зазвичай використовуються лише для спеціальних приладів. Також є **нагрівальні стрічки** (е), які можна використовувати для утеплення колон для перегонки.

Нагрівальний кожух може легко генерувати достатню кількість тепла для випаровування більшості органічних матеріалів і може розплавити колбу, якщо використовувати його на повну потужність. Тому слід ЗАВЖДИ підключати

нагрівальні кожухи не *безпосередньо до розетки*, а до заземленого лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) змінної напруги.



Рис. 6.2. Приклади лабораторних автотрансформаторів (ЛАТР)

Ураховуючи те, що нагрівальні кожухи та ЛАТри є електричними приладами, необхідно дотримуватись необхідних запобіжних заходів під час їхнього використання. Перед використанням перевірте, чи немає ушкоджень ізоляційного матеріалу зі скловолокна та крапель води чи будь-якого іншого розчинника на кожусі. У такому випадку його варто використовувати лише після належного очищення й огляду. Не використовувати нагрівальні кожухи із крихким або потрісканим скловолокном, з неізольованими дротами. Поки зберігається цілісність і чистота ізоляційного матеріалу, нагрівальні кожухи не становлять небезпеки удару електричним струмом. Ніколи *не занурювати (!)* нагрівальні кожухи у воду або іншу рідину (або *не поміщати* ці рідини в кожухи). Завжди використовувати правильно заземлену розетку. Якщо нагрівальний кожух має зовнішній металевий корпус, який забезпечує фізичний захист від пошкодження скловолокна, то потрібно добре заземлити зовнішній металевий корпус для захисту від ураження електричним струмом, якщо відбудеться коротке замикання нагрівального елемента всередині кожуха на металевий корпус.

Варто зауважити, що старі моделі ЛАТРів, якщо до них підключені інші пристрої, залишаються під напругою, навіть після вимкнення! Одночасне торкання до цього пристрою та землі може замкнути ланцюг з вашим тілом і призвести до

ураження електричним струмом. Завжди відключайте ЛАТР від розетки, перш ніж працювати з підключеним до нього пристроєм.

6.4. Нагрівальні бані. Матеріали та теплоносії для бань

Бані застосовують у тих випадках, коли необхідно нагрівати реакційну суміш протягом тривалого часу за певної температури. Залежно від матеріалу (теплоносія), що застосовується як теплоносії, розрізняють бані: повітряні, парові, рідинні (водяні, масляні, гліцеринові), металеві, сольові, піщані тощо.

6.4.1. Повітряні бані

Найпростіша повітряна баня – порожниста металева циліндрична посудина, яка нагрівається газовим полум'ям або електричним нагрівачем. Зверху в цю посудину вставляють колбу, а проміжок між горлом колби і краями посудини закривають скловолокном або фольгою. Змінюючи інтенсивність нагрівання, можна регулювати температуру бані (її вимірюють термометром) і підтримувати її хоча б приблизно на постійному рівні.

Одним з основних недоліків повітряних бань є те, що вони мають низьку теплоємність.

Оскільки з усіх матеріалів, що використовуються в банях, повітря має найменшу теплопровідність, то перехід тепла від газу (наприклад, від гарячого повітря) відносно малий, і тому з цього погляду повітряні бані не придатні для передачі великої кількості тепла (наприклад, при перегонці великих обсягів). У цьому випадку повітряну баню необхідно нагрівати до високої температури (великий температурний градієнт), а це, у свою чергу, пов'язане з небезпекою перегріву в місцях, від яких тепло не відводиться всередину посудини досить швидко (наприклад, в місцях, які не змочуються киплячою рідиною). Проте повітряні бані з електричним нагріванням часто використовуються для нагрівання посудин неправильної форми або невеликих за об'ємом. Загроза перегрівання в цьому випадку значно менша.

6.4.2. Рідинні нагрівальні бані

Рідини мають хороші коефіцієнти теплопередачі і є ефективним способом нагрівання реакційних сумішей. Як ємність для бані зазвичай використовують стакан. Це зручно, оскільки можна побачити реакційну колбу крізь баню. Для матеріалів із високою температурою іноді використовується металеву ємність, хоча це може призвести до удару електричним струмом, якщо прилад не заземлений належним чином.

Розрізняють рідинні бані, у яких використовують негорючі та горючі теплоносії. Ключовим моментом є пошук рідини для бані, яка легко не випаровується і не горюча за температур, що використовуються. Крім того необхідно знати температуру спалаху рідини, що використовується в бані, тобто точку, у якій матеріал для бані може утворювати горючу суміш із повітрям на межі рідини. Ніколи *не слід* нагрівати рідину для бані *вище її температури спалаху* (і, зазвичай навіть у межах 20 градусів від температури спалаху).

Особливої уваги, із погляду техніки безпеки, заслуговують бані з горючими теплоносіями – мінеральне та силіконове масло, рідше парафін і гліцерин. Проте всі рідинні нагрівальні бані за своєю суттю небезпечні, оскільки гарячу рідину можна легко розлити або вона може розбризкуватись, особливо якщо вода випадково потрапила в гарячу рідину. Крім того, рідини для бані розширюються під час нагрівання й можливі переливи, а в безпосередній близькості розміщено електричне джерело тепла, і це може викликати спалах і пожежу. Отже бажано використовувати замість рідинних бань нагрівальні кожухи або бані із твердим (сухим) матеріалом.

6.4.3. Водяні бані

За необхідності нагрівання до температур *нижче 100 °C* як теплоносій для рідинних бань і термостатів зазвичай використовують *воду*. Найпростіша баня, яку ми можемо придумати – це водяна баня. Вона застосовується для проведення хімічних реакцій, для *перегонки* за атмосферного тиску рідин, що киплять *не вище 80 °C*, а також для упарювання розчинників на ротаційному випаровувачі. Якщо в методиці сказано, що

речовина нагрівається на водяній бані та при цьому не вказана температура, то завжди мається на увазі кипляча водяна баня. Електричні водяні й парові бані, які придатні для нагрівання колб і пробірок до **100 °C** належать до безпечних нагрівачів. За їхньою допомогою проблема нагрівання легко займистих речовин розв'язується кардинально. Відсутність дуже нагрітих поверхонь виключає можливість займання горючих речовин або парів. Воду в бані нагрівають газом, електрикою або паром. Найпростішою водяною банею є металева посудина. У лабораторіях зустрічаються водяні бані різних типів, наприклад, відкритого й закритого типу. Спеціальні водяні бані – мідні або латунні циліндричні, або конічні посудини, що закриваються зверху набором концентричних кілець (їх можна знімати по одному) і зазвичай мають пристрій для автоматичного регулювання постійного рівня води. Електричні водяні бані мають електронагрівачі, вмонтовані в дно або бічні стінки бань.

Варто зазначити, що навіть близько 70 °C вода випаровується занадто швидко, тому постійне використання відкритих киплячих водяних бань надзвичайно збільшує небезпеку роботи з електроустаткуванням, що перебувають у витяжній шафі. Застосування водяних бань закритого типу з набором концентричних кілець значно зменшує випаровування води, що має велике значення за тривалого нагрівання.

Необхідно розрізнити два типи нагрівання на водяній бані: коли колба занурена в воду (таким шляхом досягається температура 100 °C) і коли колба води не торкається й нагрівається лише водяною парою (водночас досягається температура на кілька градусів нижче 100 °C).

Небезпечно застосовувати воду для нагрівання скляних посудин, що містять речовини які бурхливо реагують із водою – лужні метали, магнійорганічні сполуки тощо. Доводиться відмовлятися від використання водяних бань під час проведення робіт з абсолютними розчинниками і в тих випадках, коли присутність водяної пари небажано за умовами експерименту.

Водні розчини неорганічних солей дозволяють розширити робочий температурний інтервал порівняно з водяними банями. Так, 20 % розчин NaCl кипить за 105 °C, 50 % розчин K₂CO₃ – за

115 °С, 60 % розчин K_2CO_3 – за 125 °С, 58 % розчин $CaCl_2$ – за 140 °С, а 75 % розчин $CaCl_2$ – за 175 °С. Ще більш високі температури бані можуть досягатися за допомогою концентрованих розчинів лугів, але враховуючи високу реакційну здатність цих розчинів, їх майже не застосовують в експериментальній практиці. Не набули широкого використання як теплоносії й концентровані розчини таких солей, як KNO_3 , $NaNO_3$, NH_4NO_3 , з огляду на їхню дію як сильних окисників.

Взагалі водносолеві бані не набули широкого поширення в лабораторній практиці через багато своїх істотних недоліків. Насамперед – це їхня сильна кородуюча дія. Крім того, щоб температура киплячої бані була постійною, необхідно підтримувати постійну концентрацію солі, тобто безперервно компенсувати воду, що випаровується, доливаючи її до початкового рівня. Це створює певні незручності і значно ускладнює роботу.

6.4.4. Масляні бані

Масляні бані використовуються в лабораторній практиці для рівномірного нагрівання реакційної суміші за постійної температури. Лабораторні масляні бані – це міцні циліндричні ємності, виготовлені з алюмінію, нержавіючої сталі або термостійкого скла Рутех®. Нагрівання здійснюють за допомогою електричних приладів як зовнішніх (плитки, магнітні мішалки з нагрівом) так і вмонтованих у конструкцію бані. У виняткових випадках використовують пальник Бунзена. Для нагрівання до температури *нижче 200 °С* часто використовують **мінеральне масло**, а для більш високих температур (*до 300 °С*) **силіконове**.

Мінеральне масло – це рідка суміш високомолекулярних вуглеводнів, що є продуктами переробки нафти. У літературі також згадується *парафінове (вазелінове) масло*, що є більш легкою фракцією мінерального масла, що складається із суміші вуглеводнів C_{10} – C_{15} . Застосовуються лише *мінеральні масла* з високою температурою самозаймання, не нижча 300 °С.

Під час тривалого нагрівання вище 180 °С мінеральні масла можуть поступово розкладатися, утворюючи густий осад на дні бані та фракцію більш легких горючих продуктів. Останні,

накопичуючись у маслі, знижують його як температуру спалаху, так і температуру самозаймання, тобто значно підвищують його пожежонебезпеку. Із цієї причини з появою перших ознак розкладання – густого шару на дні бані – масло необхідно замінити.

Силіконові масла, синтетичні полісилоксани різного ступеня полімеризації, є найбільш придатними теплоносіями для нагрівання до температур **250 °C**. Вони хімічно інертні і стійкі до термічного окиснення. Важлива їхня перевага – прозорість, що дозволяє візуально спостерігати за перебігом реакції в колбі, що нагрівається. Не зважаючи на різноманітність марок силіконових масел для заповнення рідинних бань придатні лише ті масла, що мають порівняно високу температуру спалаху – у межах 290–310 °C і вище. Наприклад ПФМС-4 (поліфенілметилсилоксан, температура спалаху 300 °C, температура самозаймання 475 °C). Хоча деякі марки силіконових масел і можуть витримувати без розкладання нагрівання до 300 °C, а в банях закритого типу – до 350 °C, не рекомендується нагрівати їх вище температури спалаху. У цьому випадку силіконові масла не становлять пожежної небезпеки.

Для наповнення бань застосовують також **парафін** (Т пл. 60 °C); його можна використовувати для нагрівання до **200 °C**. Однак парафін із часом темніє і за високих температур дуже димить.

За всіх позитивів масляні бані мають ряд недоліків, які необхідно враховувати під час роботи з ними в навчальній або науково-дослідній лабораторії:

1. Високі температури, до яких нагрівають масла, а у зв'язку з цим виникнення можливості опіків і **пожежно небезпечного стану**.

2. Випадкове потрапляння в гарячу масляну баню води, що може спричинити значне розбризкування гарячого масла, а відповідно знову ж таки виникнення можливості опіків і **пожежно небезпечного стану**.

3. Мінеральне масло має неприємний запах за підвищених температур.

4. Реакційні колби, занурені в масляну баню стають вкрай слизькими.

5. Під час нагрівання масло дещо розширюється й рівень його в бані підвищується, що може призвести до переливу. Потрапляння надлишку масла на розпечену поверхню плитки може призвести до його загоряння.

Тому за можливості дослідникам рекомендується замінювати масляні бані на більш безпечні піщані бані, нагрівальні кожухи або суцільні металеві блоки (наприклад, з анодованого алюмінію).

6.4.4.1. Загальні заходи безпеки та правила роботи з масляними банями в лабораторії

1. Як теплоносії слід використовувати виключно чисті рідини, що не містять сторонніх домішок і забруднень.

За необхідності використання масел, що були у вжитку, наприклад із масляних вакуумних насосів, варто попередньо прогріти масло в вакуумі, щоб видалити легко летючі продукти. Під час потрапляння води в холодну масляну баню, її теж можна зробити знову придатною для роботи, після повільного нагрівання до температури вищої за 100 °С і повного випаровування води. Не варто використовувати масло, яке зазнало перегрівання або має темно-коричневий колір. Періодично потрібно замінювати мінеральне масло в масляній бані.

2. Нагрівати масляні бані слід лише в рекомендованому інтервалі температур. Верхня межа нагрівання має бути нижчою за температуру спалаху масла в межах від 10 до 20 °С.

Забороняється перевищувати робочий інтервал температур використовуваного теплоносія. Забороняється нагрівати рідинні бані до появи диму, що вказує на початок інтенсивного випаровування масла, унаслідок чого може відбутися спалах або самозаймання.

3. Для нагрівання рідинних бань уникайте відкритого полум'я й інших джерел тепла з нерегульованим тепловим потоком. Електроплитки для нагрівання бань повинні мати ступінчастий або плавний регулятор потужності. ***Використовуйте лише справні електроприлади.*** Завжди перевіряйте нагрівальний

електроприлад на предмет пошкодження ізоляції струмопровідних і терморегулюючих частин.

За необхідності нагрівання до температур, близьких до верхнього робочої межі для цього теплоносія, варто використовувати бані закритого типу. У крайньому випадку для прикриття вільної поверхні бані допускається використання двох шматків азбестового картону, які мають вирізи у вигляді півкола за розміром колби.

4. Температуру масляної бані потрібно контролювати за допомогою термометра або термопар. Кулька термометра або термопара має розташовуватися приблизно посередині між дном бані й поверхнею рідини, не торкаючись стінок бані. Контроль температур потрібен щонайменше для дотримання умов проведення реакції або дистиляції. Водночас, що вкрай важливо, температура масляної бані не повинна перевищувати температуру спалаху використовуваного масла. Застосування пристроїв автоматичного контролю температури убезпечує масляну баню від можливого перегрівання. Особливо це важливо у випадку, коли баня на певний час залишається без нагляду. Проте перед початком експерименту варто перевірити справність термопар або контактного термометра та правильність їхнього закріплення у штативі приладу. Інакше вони показуватимуть температуру довкілля та сигналізувати нагрівальному приладу працювати надалі для досягнення заданої температури. Прилад продовжить працювати на повну потужність, попри те, що в цей момент температура масляної бані може сягати критичних значень у декілька сотень градусів.

5. Варто використовувати бані з міцною конструкцією, яка може витримати випадковий удар твердим предметом та убезпечити розлив гарячого масла. З цієї причини не рекомендовано використовувати ємності з термостійкого скла для масляних та інших рідинних бань під час роботи з великими об'ємами та за високих температур.

6. Діаметр бані повинен збігатися або бути дещо більшим, ніж діаметр нагрівальної плитки (мішалки), щоб за випадкового витоку масла з бані воно не потрапило на розпечену поверхню.

7. Нагрівання бані починають лише після повного складання приладу та ретельної перевірки правильності складання. Якщо необхідно додати речовини до реакційної посудини під час нагрівання, слід подбати, щоб реагент не потрапив у масло.

8. Необхідно суворо стежити за тим, щоб у масляну баню, нагріту до високої температури, не потрапила рідина з нижчою температурою кипіння, наприклад вода. Уже від кількох крапель води масло починає бурхливо пінитися, може розбризкуватись і спалахнути. Щоб уникнути подібних випадків слід особливо ретельно закріплювати гумові шланги на водяних холодильниках, своєчасно замінювати шланги, що втратили еластичність і потріскалися.

Особливо небезпечно, коли нагрівається на масляній бані колба з рідиною, що має нижчу температуру кипіння, наприклад зі спиртом або тетрагідрофураном. Якщо колба з якої-небудь причини пошкодиться – рідина миттєво випарується з масла майже зі швидкістю вибуху. Це призводить до розбризкування гарячого теплоносія на широкій площі та може завдати серйозних травм присутнім у лабораторії. Тому особливо рекомендується *не перегрівати баню й не залишати масляну баню без нагляду!*

9. Баня повинна мати систему перемішування масла для рівномірності нагрівання та для запобігання утворення місцевих "гарячих точок" із неприйнятно високими температурами на нагрівальному елементі.

10. Масляні бані варто обережно встановлювати на горизонтальну підставку, наприклад, лабораторний підйомний столик, який можна легко піднімати або опускати без небезпеки перекидання бані, що є важливим у разі надзвичайних ситуацій. Залізні кільця не є прийнятними опорами для гарячих бань.

11. Для проведення хімічних реакцій або дистиляції із застосуванням масляних бань використовують термостійкі круглодонні колби, які закріплюють на штативі досить високо. Це дає можливість, у випадку перегрівання реакційної суміші, негайно опустити гарячу баню й замінити її на охолоджувальну, не потребуючи переналагодження обладнання.

12. Нагрівання до високих температур на масляній бані проводять у витяжній шафі, оскільки пари масла мають неприємний запах і за тривалого вдихання шкідливі.

13. Після закінчення нагрівання колбу зразу ж виймають із ще гарячого масла для того, щоб масло могло стекти зі стінок, поки воно ще не стало в'язким. Масло, що залишилось на поверхні колби витирають шматочками фільтрувального паперу або вати. Засохлі залишки масла легко знімаються ватою, змоченою в неполярному розчиннику (гексан, бензол).

Для очищення невеликих випадкових розливів як масла для бані, так і масла вакуумного насоса можуть використовуватися гранульовані глиняні абсорбенти, пісок, універсальні накладки для поліпропіленового сорбенту або інші специфічні поглиначі для масел. Тверді відходи після очищення можна зберігати в пакетах у металевому контейнері.

Зберігання масляних бань

Масляну баню зберігають за кімнатної температури, закритою металевою кришкою або алюмінієвою фольгою, подалі від джерел тепла.

6.4.5. Інші види рідинних бань

Концентрована сірчана кислота використовується як рідина для бань, здебільшого у приладах для визначення температури плавлення – приладів Тілле. Її можна нагрівати до 250–280 °С. За більш високої температури кислота починає дуже диміти. Працювати із приладами, заповненими сірчаною кислотою, можна лише в захисній масці та/або за захисним екраном.

Заміна сірчаної кислоти ***силіконовим маслом*** хоча і виправдана з погляду техніки безпеки, не завжди влаштовує дослідників, оскільки через більшу в'язкість цього масла знижується точність виміру. Більшою мірою підходять для заміни сірчаної кислоти деякі високо киплячі рідини – ***дибутилфталат*** (температура кипіння 340 °С); ***тетракрезилсилікат*** (температура кипіння близько 440 °С) і ***даутерм А*** (евтектична суміш дифеніловий етер і дифеніл).

Гліцерин широко застосовують для заповнення рідинних бань і термостатів, які можна нагрівати не вище 200–220 °С. До його переваг, порівняно з мінеральними маслами, слід віднести

прозорість і розчинність у воді, завдяки чому він легко змивається з посуду. Однак, як теплоносії, гліцерин має серйозні недоліки. Він не є хімічно інертним; а за взаємодії з сильними окисниками, наприклад із перманганатом калію, можливе навіть займання. Небезпечно потрапляння лужних металів у нагріту гліцеринову баню.

Гліцерин дуже гігроскопічний, під час поглинання води різко знижуються температури кипіння і спалаху: чистий гліцерин кипить за 290 °С, із вмістом 2 % води температура кипіння становить 210 °С. За тривалого нагрівання навіть до порівняно невисоких температур (100–150 °С) гліцерин розкладається з утворенням легкозаймистих речовин, що знижують температуру його спалаху на кілька десятків градусів. Крім того, за термічного розкладання гліцерину утворюється *акролеїн*, що дуже подразнює слизові оболонки. Під час нагрівання вище 200 °С гліцерин дуже інтенсивно розкладається; домішки каталізують його окиснення і термічний розклад.

Триетиленгліколь має параметри (температура кипіння 287 °С, температура спалаху 154 °С, розчинний у воді) близькі до значень для гліцерину, але він є більш термохімічно стабільним порівняно із гліцерином. *Етиленгліколь* має низьку температури спалаху 120 °С і тому його не рекомендується використовувати як теплоносії.

6.4.6. Сольові бані

Для нагрівання до температур, що перевищують 300 °С, використовують розплавлені солі або їхні суміші. Найчастіше в сольових банях застосовують еквімолярну суміш *нітрату натрію* (48,7 %) і *нітрату калію* (51,3 %) із $T_{пл.}$ 219 °С. Окремо обидва нітрати плавляться за значно вищої температури (нітрат натрію за 312 °С, а нітрат калію за 308 °С). Баня з такими наповнювачами застосовується в інтервалі температур **від 230 до 500 °С**.

Більш зручна сольова баня, що складається з суміші 40 % *нітриту натрію*, 7 % *нітрату натрію* і 53 % *нітрату калію*. Ця суміш плавиться вже за 142 °С і придатна для температур **від 150 до 500 °С**. Недолік цієї бані полягає в тому, що за високих температур суміш поступово окиснюється.

Солі з дуже високими температурами плавлення (MgCl_2 712 °C, Na_2CO_3 850 °C, CaCl_2 765 °C, KCl 770 °C, NaCl 800 °C тощо) менш придатні для використання як наповнювачі для сольових бань.

Під час роботи із сольовими банями, як і з усіма іншими, бажано використовувати прилади з якісного скла. А ємність, яка використовується для сольової бані повинна витримувати дуже швидке нагрівання до температури вище за температуру плавлення солі.

Колбу занурюють у розплав, що має температуру дещо вищу за $T_{\text{пл}}$ бані і після закінчення роботи її слід виїняти з ще гарячого розплаву, перш ніж він затвердіє. Варто зазначити, що сольові бані для того, щоб рівномірно розплавити наповнювач із великим термічним коефіцієнтом розширення й запобігти його розбризкуванню, потрібно спочатку нагрівати з одного краю, а не посередині ємності.

Сольові бані, зважаючи на їхню гігроскопічність, мають бути сухими. Адже випаровування абсорбованої води під час нагрівання може призвести до розбризкування гарячого теплоносія на широкій площі, що так само може завдати серйозних травм присутнім у лабораторії.

6.4.7. Металеві бані

Металеві бані, як і сольові, використовують здебільшого для нагрівання невеликих колб до температур, вищих за 300 °C. Висока теплопровідність металів сприяє дуже швидкій передачі тепла від металевих бань. Ємністю для бані може бути залізна чашка. Як наповнювачі використовують легкоплавкі сплави, наприклад *сплав Вуда* ($T_{\text{пл}}$ 70 °C) або *сплав Розе* ($T_{\text{пл}}$ 98 °C) (табл. 6.1). Сплав свинцю і олова (1 : 1) має набагато вищу $T_{\text{пл}}$ 225 °C. За співвідношення тих самих компонентів, що дорівнює 1 : 2, температура плавлення сплаву становить 180 °C. *Свинець*, що плавиться за 327 °C, можна використовувати за температур від 350 до 800 °C.

Одна з основних переваг сплавів, що забезпечує рівномірність нагрівання – це високі значення їхніх коефіцієнтів теплопровідності. Так, теплопровідність *сплаву Вуда* більш ніж у 100 разів перевищує теплопровідність *вазелинового масла*.

Робочий інтервал температур *сплаву Вуда* 70–350 °С. Однак за температури вище 250 °С метал порівняно швидко окиснюється на поверхні. Для запобігання окиснення на поверхню сплаву насипають шар подрібненого деревного *вугілля*. Щоб метал не налипав на стінки колби, перед початком роботи її корисно закопати над полум'ям.

Небезпека роботи зі сплавом Вуда полягає у його високій щільності, рухливості рідкого сплаву та високій температурі. Особливо небезпечне потрапляння бризок розплавленого металу в очі та на шкіру. З металевими банями необхідно працювати в окулярах і полотняних рукавицях. Не рекомендується піднімати або пересувати гарячу баню однією рукою; за необхідності варто вдатися до допомоги колеги по роботі. Не можна занурювати у сплав Вуда тонкостінні склянки й колби об'ємом більше 1 л, які внаслідок високої щільності сплаву можуть тріснути. Щоб уникнути пошкоджень, після закінчення нагрівання, колби й термометри виймають із ще гарячого сплаву, перш ніж він затвердіє.

Таблиця 6.1

Легкоплавкі сплави

Сплав (alloys)	Т _{пл.} , °С	Бісм ут	Плюмб ум	Стан ум	Інді й	Кадм ій	Галі й, Стиб ій
Розе (Rose's metal)	98 °С	50 %	25 %	25 %	—	—	—
Cerroso fe	74 °С	42.5 %	37.7 %	11.3 %	—	8.5 %	—
Вуда (Wood' s metal)	70 °С	50 %	26.7 %	13.3 %	—	10 %	—
Field's metal	62 °С	32.5 %	—	16.5 %	51 %	—	—
Cerrolo w 136	58 °С	49 %	18 %	12 %	21 %	—	—

Cerrolo w 117	47.2 ° C	44.7 %	22.6 %	8.3 %	19.1 %	5.3 %	–
Галінст ан Galinsta n	–19 ° C	<1.5 %	–	9.5– 10.5 %	21– 22 %	–	68– 69 %, <1.5 %

6.4.8. Піщані бані

Піщані бані належать до сухих нагрівальних бань. Тверді (сухі) нагрівальні бані з використанням піску й інертного подрібненого матеріалу є найкращим вибором, оскільки вони негорючі, нетоксичні та унеможливають небезпеку розбризкування, тобто набагато безпечніші порівняно з рідинними банями. Це металічні ємності різної форми, переважно циліндричної або прямокутної, які наповнюються дрібнозернистим піском, залізними ошурками, металевим дробом та іншими інертними матеріалами. Такі бані можна нагрівати як електроплитками так і газовим пальником.

Проте піщані бані прогриваються нерівномірно, унаслідок чого під час роботи з ними дуже важко підтримувати навіть приблизно постійну температуру, тому вони придатні для нагрівання лише невеликих за об'ємом колб і пробірок. Нагрівати за допомогою піщаних бань скляні колби небажано ще й із тієї причини, що піщинки дряпають поверхню скла, істотно знижуючи їхню міцність.

6.5. Металеві нагрівальні блоки

Нагрівальні блоки – це безпечна, зручна й ефективна альтернатива нагрівальних кожухів і масляних бань для нагрівання колб, трубок і флаконів із круглим дном. Блоки виготовляють із суцільного металу – *анодованого алюмінію* відповідної форми й розміру. Анодований алюміній отримують у процесі електролітичного окиснення, під час якого на поверхні металу утворюється шар оксидної плівки. Метал для анодування в електролізері виступає анодом. Утворена анодна оксидна плівка (завтовшки 1–200 мкм) захищає метал від корозії, має електроізоляційні властивості, поліпшує зовнішній вигляд

виробу, корозійну стійкість, стійкість до стирання, поверхневу твердість.

Під час використання, у поєднанні зі стандартною мішалкою для нагрівання, нагрівальні блоки, завдяки своїй теплопровідності, зарекомендували себе набагато краще масляних бань. Вони більш практичні у використанні й більш безпечні, певною мірою зменшуючи ризик пожежі. Після їхнього застосування не залишається залишків забруднення маслом на зовнішньому боці колб, що значно спрощує очищення скляного посуду. Окрім того нагрівальні блоки більш екологічні, оскільки випаром не забруднюють повітря в лабораторії під час проведення експерименту.



Рис. 6.3. Металеві нагрівальні блоки

Проте варто пам'ятати, що алюмінієві нагрівальні блоки можуть досягати температури понад 250 °C і дуже інерційні в охолодженні, тобто великі нагрівальні блоки можуть затримувати тепло й залишатися досить гарячими, щоб викликати опік навіть після того, як минуло понад півгодини. В ідеалі користувачі повинні використовувати термопари в нагрівальному блоці для контролю температури під час фази охолодження. Однак за відсутності термопари рекомендується будь-який нагрітий блок залишити мінімум на одну годину.

6.6. Сушильні шафи

Шафи з електричним нагріванням зазвичай використовуються в лабораторії для видалення води або інших розчинників із хімічних проб і для сушіння лабораторного скляного посуду, але в жодному разі не для приготування їжі та розігрівання харчових продуктів.

Лабораторні сушильні шафи *не* варто застосовувати для сушіння хімічних зразків, які можуть становити небезпеку через свою гостру або хронічну токсичність, якщо не вживатимуться спеціальні запобіжні заходи для забезпечення постійного видалення парів цих речовин із сушильної шафи.

З метою попередження загорання, спалаху, вибуху не потрібно сушити в лабораторній шафі, без попереднього ополіскування водою, скляний посуд, який мився легко займистими розчинниками. Для зняття скляного посуду, що сушився в лабораторній шафі потрібно використовувати жаростійкі рукавички. Не сушити пластиковий посуд і скляні колби закритими.

Лабораторні сушильні шафи побудовані так, що їхні нагрівальні елементи й контроль температури відокремлені від їх внутрішньої ємності для сушіння.

Для контролю температури сушильної шафи слід надати перевагу біметалічним термометрам. Якщо ртутний шарик термометра, що розміщувався у внутрішній частині ємності сушильної шафи, розбився, слід негайно вимкнути й закрити шафу. Після охолодження потрібно видалити всю ртуть і дегазувати шафу і приміщення лабораторії відповідно до правил техніки безпеки під час роботи із ртуттю.

6.7. Теплові пістолети (фени)

Лабораторні фени – це лабораторне електрообладнання, у корпус якого вбудований вентилятор, який продуває повітря над нагрітою електричною спіраллю, створюючи його гарячий потік, зазвичай за температури від 100–550 °С, а деякі моделі працюють і близько 760 °С. Фени часто використовуються для сушіння скляного посуду або для нагрівання верхніх частин

дистиляційного апарату під час перегонки висококиплячих матеріалів.

6.8. Муфельні печі

Муфельні печі здатні досягати температури до 1800 °С, і їх слід розмішувати в окремих приміщеннях подалі від горючих або легкозаймистих матеріалів. Для прокалювання в муфельних печах варто використовувати лише термостійкі тиглі й ніколи не поміщати всередину звичайний скляний посуд. Термостійкі тиглі слід знімати за допомогою відповідних щипців і в термостійких рукавицях.

6.9. Мікрохвильові печі

Лабораторні мікрохвильові печі використовуються для швидкого, безпечного і зручного проведення синтезу хімічних речовин.

Для мікрохвильового нагрівання характерні декілька небезпечних недоліків, які не притаманні іншим методам нагрівання, а саме: надзвичайно швидке підвищення температури й тиску, перегрів рідини, утворення електричної дуги та витік мікрохвильового опромінення. Лабораторні мікрохвильові печі, на відміну від побутових, мають вбудовані елементи для зменшення або усунення цих небезпек. Не використовуйте лабораторні мікрохвильові печі для нагрівання або приготування харчових продуктів, щоб уникнути можливості їхнього забруднення.

Метали, розміщені всередині мікрохвильової печі створюють електричну дугу, що може призвести до займання горючих матеріалів. Тому не варто використовувати й залишати в мікрохвильовій печі металеві ємності та металеві предмети, наприклад, якорі для перемішування. Не нагрівати в мікрохвильовій печі герметичні контейнери, навіть якщо вони нещільно закриті. Вони можуть створювати тиск при розширенні під час нагрівання, що в свою чергу може призвести до розриву контейнера та вибуху. Якщо стерильність вмісту повинна бути

збережена, потрібно використовувати бавовняні, пінопластові або силіконові пробки.

Не можна перевищувати рекомендовані температури, оскільки матеріали, розміщені всередині печі, можуть перегріватися та спалахнути.

Ніколи не використовуйте мікрохвильові печі з відкритими дверима, щоб уникнути впливу мікрохвильового опромінення. Не кладіть дроти й інші предмети між ущільнювальною поверхнею та дверцятами на передній панелі печі. Ущільнювальні поверхні повинні бути абсолютно чистими.

6.10. Резистивні нагрівальні елементи (спіралі, електрокип'ятильники)

Занурювальні електрокип'ятильники побутового типу потужністю 300, 600 і 1000 Вт є зручною й безпечною заміною електроплиток для нагрівання рідинних бань. Хороший занурювальний нагрівач (електрокип'ятильник), без відкритих контактів і підключений до заземленого ЛАТРу, може забезпечити стабільність температури, порівняну або кращу, ніж звичайна плитка, і може бути таким простим у використанні. Часто зустрічаються рідинні бані (наприклад водяні або масляні) необхідних розмірів із вбудованим занурювальним електронагрівачем. Для виготовлення нагрівача використовують ніхромову спіраль і мідні або термостійкі скляні трубки. Підтримувати необхідну температуру наповнювача в бані можна або за допомогою контактного термометра й реле, або підключивши нагрівач через лабораторний автотрансформатор (ЛАТР).

Варто пам'ятати, що старі моделі ЛАТРів, якщо до них підключені інші пристрої, залишаються під напругою, навіть після вимкнення! Одночасне торкання до цього пристрою та землі може замкнути ланцюг із вашим тілом і призвести до ураження електричним струмом. Завжди відключайте ЛАТР від розетки, перш ніж працювати з підключеним до нього пристроєм.

6.11. Лабораторний посуд зі струмопровідним покриттям

Посуд зі струмопровідним покриттям (колби, склянки) виготовляють із термічно стійкого скла "пірекс". На зовнішню поверхню скляних стінок нанесена плівка діоксиду олова з добавкою речовин, що збільшують її електропровідність. На поверхню плівки нанесено шар ізоляційного лаку або глазури.

Вироби зі струмопровідним покриттям вмикають у мережу через лабораторний автотрансформатор (ЛАТР), який служить для регулювання інтенсивності нагрівання. Подача напруги на струмопровідну плівку здійснюється через мідні контакти, що надягають на силікатно-срібну шину, або за допомогою проводів, безпосередньо припаяних до силікатно-срібної шини.

Якщо під час нагрівання бань на плитці тепловий потік проходить через кілька поверхонь розділу, то в посуду зі струмопровідною плівкою нагріваються безпосередньо скляні стінки, унаслідок чого здійснюється найбільш ефективний теплопередача. Тому, незважаючи на високу потужність цих нагрівачів (до 3000 Вт), вони менш небезпечні в пожежному відношенні порівняно з електроплитками. Істотною перевагою "самонагрівальних" виробів із погляду техніки безпеки є велика компактність усієї системи.





Рис. 6.4. Колби зі струмопровідним покриттям

З іншого боку, при безграмотному поводженні вироби зі струмопровідними покриттями можуть бути джерелом небезпеки. Плівка діоксиду олова є відкритим провідником, тому в готових виробах вона ізолювана безбарвним лаком на основі кремнієорганічних сполук. Лак недостатньо стійкий до дії органічних розчинників, лужних розчинів, а також розчинів сильних окиснювачів (зокрема хромової суміші), що необхідно враховувати під час миття посуду. У разі порушення лакової ізоляції дотик до струмопровідних покриттів може призвести до удару електричним струмом. Деякі обмеження на широке застосування виробів зі струмопровідним покриттям накладає необхідність підтримки рівня рідини в посудині не нижче межі струмопровідного покриття.

6.12. Інфрачервоні випромінювачі

Інфрачервоні випромінювачі в багатьох випадках кращі від інших джерел тепла не лише з міркувань зручності в роботі, але й з погляду техніки безпеки. Проблема вибору безпечного нагрівача виникає, наприклад, за необхідності нагрівання

посудин на апараті для струшування. Інфрачервоний випромінювач дає потужний і рівномірний тепловий потік і може розміщуватися осторонь від реакційної ємності, що зменшує можливість займання випадково пролитої горючої рідини. Обов'язковим запобіжним засобом під час користування інфрачервоним випромінювачем є контроль температури нагрівання за допомогою термометра. Варто мати на увазі, що за рахунок спрямованості потужність теплового потоку інфрачервоного дзеркального випромінювача в кілька разів вище, ніж у електроплитки з однаковою номінальною потужністю. Оскільки температура в зоні опромінення може досягати 350–400 °С (особливо дуже нагріваються чорні предмети), необхідно стежити за тим, щоб на шляху теплового потоку не було легкозаймистих матеріалів – паперу, тканини, горючих пластиків. Не варто намагатися оцінити температуру нагрівання, поміщаючи під інфрачервону лампу руку – оцінка виявляється заниженою на 100 °С й більше. Щоб уникнути займання слід виключити можливість контакту горючих рідин або парів із колбою лампи – випромінювач повинен перебувати зверху або збоку від посудини, що нагрівається, але не знизу.

Розділ 7. Техніка безпеки під час роботи з кріогенними рідинами

Кріогенні рідини – це речовини, температура яких становить від 0–120 К. До основних кріогенних рідин належать зріджені гази: азот, кисень, аргон, криптон, ксенон, озон, фтор, метан, водень, гелій.

Відомо, що зріджені гази застосовують як охолоджувальні агенти. Також є багато речовин, температура кипіння яких нижче нуля, тобто за нормальних умов це гази. Для роботи з такими речовинами виникає необхідність мати їх у рідкому стані.

Низькі температури широко застосовуються в роботі хімічних лабораторій. Створення не надто низьких температур (порядку – 75 °С) зазвичай не викликає труднощів, для цього користуються охолоджувальними сумішами різного складу, наприклад льоду із солями амонію, калію, кальцію тощо, або "сухого льоду" з

ацетоном, хлорованими вуглеводнями (табл. 7.1). Проведення досліджень за температур нижче -75°C трохи складніше й може здійснюватися у процесі застосування більш енергійних охолоджувачів. Широко застосовується глибоке охолодження за низькотемпературного розділення складних газових сумішей. Глибоке охолодження застосовують під час проведення органічних синтезів, пов'язаних із використанням металоорганічних сполук (літіювання), газоподібних реагентів (озоноліз, діазоалкани). Як охолоджувачі в хімічних лабораторіях переважно використовують рідкий азот і суміші на його основі в комбінації з органічними розчинниками.

Таблиця 7.1

Температура кипіння деяких газів			
Назва	Т. кип., $^{\circ}\text{C}$	Назва	Т. кип., $^{\circ}\text{C}$
Повітря	$-(192-195)$	Гелій	$-268,9$
Кисень	$-182,9$	Неон	$-245,9$
Азот	$-195,8$	Аргон	$-185,7$
Водень	$-252,8$	Криптон	$-152,9$
Діоксид вуглецю	$-78,2$	Ксенон	$-107,1$
Озон	$-111,9^{\circ}\text{C}$		

Рідкі гази зберігають у посудинах Дьюара.

Посудина Дьюара – посудина з ефективною теплоізоляцією і призначена для тривалого зберігання речовин за високих або низьких температур. За будовою – це скляна або металева посудина двостінної конструкції з викачаним між стінками повітрям, а цей простір заповнений термоізолюючим матеріалом.

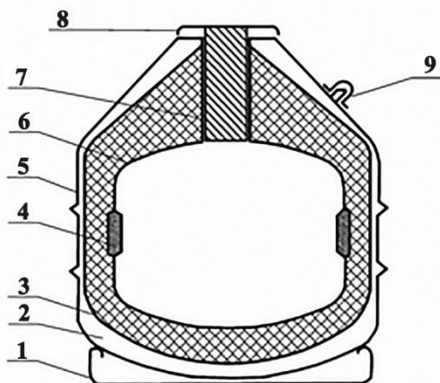


Рис. 7.1. Схема посудини Дьюара:

- 1 – підставка;
- 2 – вакуумована порожнина;
- 3 – теплоізоляція;
- 4 – адсорбент;
- 5 – зовнішня посудина;
- 6 – внутрішня посудина;
- 7 – горловина; 8 – кришка;
- 9 – трубка для вакуумування

У сучасних посудинах Дьюара внутрішня та зовнішня посудини виготовляють з алюмінію або нержавіючої сталі. Ззовні внутрішня посудина вкрита адсорбентом, який під час охолодження поглинає залишкові гази з вакуумної порожнини.

Вакуумну порожнину відкачують до залишкового тиску 10^{-2} Па. Посудини Дьюара мають низькі втрати від випаровування: від 1,5 % на добу для великих ємностей, до 5 % на добу – для малих об'ємів. Для зменшення тепловтрат внутрішню посудину вкривають додатковою теплоізоляцією. Усередині стінки скляних посудин посріблені, що значно сприяє зменшенню теплообміну шляхом випромінювання. До кришки Дьюара, для зниження конвекційної теплопередачі прикріплюють пінопластовий циліндр, який негерметично закриває горловину*. Для захисту від механічних пошкоджень скляні посудини Дьюара поміщають у металеву або дерев'яну оболонку.

* Якщо посудина наповнена рідким азотом (температура в посудині становить -196°C), то для досягнення такої температури, рідкий азот повинен постійно випаровуватись. Тому кришка посудини Дьюара не щільно закриває горловину. У міру випаровування рідкого азоту, його рівень поновлюють доливанням.

7.1. Вимоги безпеки під час роботи з посудинами Дьюара та охолоджувальними сумішами

Найчастіше в лабораторній практиці у таких посудинах зберігають рідкий азот і гелій, для якого потрібні посудини Дьюара складнішої конструкції.

Під час роботи з рідким азотом потрібно дотримуватись певних правил і норм безпеки:

- ✓ потрапляння рідкого азоту на шкіру призводить до обмороження.
- ✓ заборонено торкатись незахищеними руками до неізольованих посудин із рідким азотом.
- ✓ перед роботою із кріогенами зніміть металеві прикраси / годинник на руках і зап'ястях. Під час роботи зі зрідженими газами варто використовувати прорезинені або шкіряні рукавиці заправлені під рукави та захисні окуляри з боковими щитками;
- ✓ скляні посудини Дьюара й інші скляні та кварцеві посудини з подвійними стінками, призначені для зберігання рідких газів, повинні поміщатися в захисний футляр.

Забороняється користуватися скляними посудинами без захисних футлярів.

- ✓ зріджений газ із посудини Дьюара слід переливати через горловину посудини, встановленої у спеціальну підставку, що нахиляється;
- ✓ металічні посудини Дьюара наповнюють рідким азотом через металічну воронку із трубкою, довжина якої має бути значно більшою довжини горловини посудини;
- ✓ зріджений газ варто заливати обережно, щоб запобігти викиду рідини з горловини;
- ✓ у посудині не має бути вологи та сторонніх предметів; якщо вони є і їх неможливо видалити, посудину слід віддати в ремонт. Потрапляння вологи в горловину посудини може призвести до закупорювання горловини (утворенню льоду) і подальшого розриву посудини;

- ✓ заборонено щільно закривати пробками горловини посудин Дьюара, їх варто закривати кришкою (ковпачок), прикріпленою до кожуха ланцюжком;
- ✓ *не* рекомендується одночасно працювати в лабораторії більш ніж з однією посудиною Дьюара з рідким газом. Приміщення, у яких використовуються чи зберігаються кріогенні продукти повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією;
- ✓ під час транспортування посудин Дьюара слід запобігати поштовхам та ударам.

Під час роботи зі зрідженими газами й охолоджувальними сумішами заборонено:

- ✓ застосовувати рідкий азот для охолодження пасток або інших посудин (їх використовують для конденсації низькокиплячих органічних сполук), які контактують з атмосферним повітрям, оскільки тоді в пастці, зануреній у рідкий азот, конденсується кисень із повітря, створюючи вибухонебезпечну суміш;
- ✓ заборонено протирати внутрішню поверхню горловини посудини Дьюара ганчір'ям та іншими обтиральними матеріалами органічного походження (можна застосувати йоржі з синтетичних волокон або поролону); після 12 дозаправки варто зробити холодне промивання посудини Дьюара (вміст посудини повністю виливають і знову наповнюють рідким азотом).

Випаровування 1 об'єму рідкого азоту призводить до утворення 700 об'ємів газу, що спричинить зниження концентрації повітря у приміщенні. Під час вдихання чистого азоту людина миттєво непритомніє. Вдихання гелію, аргону, неону теж викликає миттєву втрату свідомості. За подальшої відсутності доступу до повітря (кисню) у людини настає асфіксія. Стрімке випаровування кріогенних рідин у закритому об'ємі спричинює вибухове руйнування посудини або приладу, які герметично закриті (див. "вибухова ЯМР-ампула").

У технічному азоті міститься до 4 % кисню. Під час випаровування 95–98 % вихідної кількості азоту, концентрація кисню в ньому збільшиться до 60–70 %. За такого високого вмісту кисню багато речовин і матеріалів можуть утворювати вибухо- та пожежонебезпечні суміші.

Якщо занурити в рідкий азот скляну посудину, яка не ізольована від атмосферного повітря – відбудеться конденсація повітря в цій посудині з утворенням рідкої суміші азот/кисень. Наприклад пастку, яку використовують для конденсації низькокиплячих органічних сполук під час вакуумної перегонки, не можна залишати відкритою в рідкому азоті, тому що конденсується кисень з атмосфери, створюючи вибухонебезпечну суміш.

Зріджене повітря має температуру кипіння близько -192°C . Склад його непостійний, оскільки азот як більш низькокиплячий компонент випаровується швидше кисню. У міру видалення азоту колір рідкого повітря змінюється від світло-блакитного до синього.

Під час роботи з рідким киснем існує небезпека займання та вибуху, оскільки за умови контакту з органічними речовинами утворюються вибухонебезпечні суміші та сполуки. Забороняється використовувати обладнання, рукавиці, ганчірки або просто працювати руками, що забруднені маслом, змазками й іншими органічними сполуками. Пористі горючі матеріали з рідкими киснем утворюють *оксиліквіти* – вибухові речовини великої бризантної сили. Оксиліквіти (від *окси* і лат. *liquidus* – рідкий) належать до класу вибухових речовин Шпренгеля. Вдихання чистого кисню за нормального тиску протягом 5 год призводить до отруєння. За тиску 0,5 МПа отруєння настає через кілька хвилин.

Озон є дуже сильним окисником і за концентрації вище ніж $0,1 \text{ мг/м}^3$ шкідливо впливає на здоров'я людини. Озон у твердому стані схильний до детонації з виділенням значної кількості тепла.

Водень утворює з киснем або повітрям детонуючі та горючі суміші. Метан і природний газ утворюють із киснем і повітрям пожежо- та вибухонебезпечні суміші.

Тож під час роботи з криогенними рідинами потрібно дотримуватися необхідних заходів безпеки й обов'язково працювати в захисних окулярах.

Для переконання в цьому наведемо лише один із прикладів до чого може призвести навіть незначне нехтування правилами безпечної роботи.

Вибухова ЯМР-ампула

Коли професор збирався їхати додому, він зняв захисні окуляри й одягнув пальто. Він зустрів аспіранта, який виконував процедуру підготовки герметичних ЯМР-ампул за допомогою бані з рідким азотом. (Процедура підготовки зразка для ЯМР-дослідження полягала у внесенні речовини в ампулу, тонкостінна трубка розміром близько 25×0,3 см, і додаванні дейтерованого розчинника.) Хоч професор з аспірантом і обговорювали цю процедуру, однак жоден із них не робив цього раніше – він зупинився, щоб поцікавитись, як відбувається процес. Він взяв одну із запаяних ампул, що розміщувалися в бані з рідким азотом, і підніс до світла, щоб уважно її розглянути. Ампула почала вкриватися тонким шаром льоду, унаслідок кристалізації вологи з повітря. Він руками витер іній і побачив, що ампула виглядала переповненою розчинником. Далі, рівень розчинника раптово знизився. У той момент професор зрозумів, що певна кількість газоподібного кисню сконденсувалась до рідкого стану, коли ампула містилася в бані з рідким азотом. Потім ампулу запаяли разом із рідким киснем, залишивши в бані. І ось, коли температура ампули зросла, зріджений газ знову випаровувався, імовірно, створюючи величезний тиск. Ампула раптово вибухнула, і осколки скла розлетілися в обличчя. Професор втратив зір на одне око та отримав поверхневі порізи обличчя.

Які уроки можна винести з цього випадку?

7.2. Охолоджувальні бані

Два типи систем для низькотемпературних бань наведено в табл. 7.2, 7.3. Системи першого типу отримують вливанням рідкого азоту ($T_{\text{кип.}} -196\text{ }^{\circ}\text{C}$) в органічний розчинник до утворення в'язкої маси. Температуру підтримують постійною

шляхом періодичного додавання рідкого азоту. Системи другого типу отримують додаванням невеликих шматочків сухого льоду до розчинника. Сухий лід має бути в такій кількості, щоб його повністю покривав охолоджений розчинник. Температуру суміші підтримують додаванням нових порцій сухого льоду.

Важливо! Використовуйте високоякісний чистий азот; не використовуйте рідкий азот, які тривалий час контактував із повітрям (через розчинення в ньому кисню), оскільки це може спричинити вибух під час контакту з органічними речовинами.

Охолоджувальні суміші із солі та льоду наведені в табл. 7.3. Суміш отримують у процесі змішування солі з водою або льодом у певному співвідношенні. Наведені в таблиці температури охолоджувальних сумішей на практиці досягти складно, а також можуть залежати від швидкості перемішування та ступеня подрібнення льоду.

Таблиця 7.2

*Охолоджувальні суміші на основі органічних розчинників
і рідкого азоту або сухого льоду*

Охолоджувальний агент	Органічний розчинник	T, °C
Сухий лід	n-Ксилол	+13
Сухий лід	1,4-Діоксан	+12
Сухий лід	Циклогексан	+6
Сухий лід	Бензол	+5
Сухий лід	Формамід	+2
Рідкий азот	Анілін	-6
Рідкий азот	Етиленгліколь	-10
Рідкий азот	Циклопентан	-12
Сухий лід	Бензиловий спирт	-15
Сухий лід	Етиленгліколь	-15
Сухий лід	Тетрахлоретилен	-22
Сухий лід	Тетрахлорид вуглецю	-23
Сухий лід	1,3-Дихлорбензол	-25
Сухий лід	o-Ксилол	-29

<i>Продовження табл.</i>		
Рідкий азот	Бромбензол	–30
Сухий лід	<i>м</i> -Толуїдин	–32
Сухий лід	3-Гептанон	–38
Сухий лід	Піридин	–42
Сухий лід	Циклогексанон	–46
Сухий лід	Ацетонітрил	–46
Сухий лід	<i>м</i> -Ксилол	–47
Сухий лід	Діетиловий карбіт	–52
Сухий лід	<i>н</i> -Октан	–56
Сухий лід	Діізопропіловий етер	–60
Сухий лід	Хлороформ	–61
Рідкий азот	Хлороформ	–63
Сухий лід	Етанол	–72
Сухий лід	Трихлоретилен	–73
Сухий лід	Ізопропіловий спирт	–77
Рідкий азот	Бутилацетат	–77
Сухий лід	Ацетон	–78
Рідкий азот	Ізоамілацетат	–79
Сухий лід	Діоксид сірки	–82
Рідкий азот	Етилацетат	–84
Рідкий азот	<i>н</i> -Бутанол	–89
Рідкий азот	Гексан	–94
Рідкий азот	Ацетон	–94
Рідкий азот	Толуол	–95
Рідкий азот	Метанол	–98
Рідкий азот	Циклогексен	–104
Рідкий азот	Ізооктан	–107
Рідкий азот	Етилийодид	–109
Рідкий азот	Дисульфід вуглецю	–110
Рідкий азот	Бутилбромід	–112
Рідкий азот	Етанол	–116

Закінчення табл.		
Рідкий азот	Етилбромід	–119
Рідкий азот	Ацетальдегід	–124
Рідкий азот	Метилциклогексан	–126
Рідкий азот	<i>n</i> -Пропанол	–127
Рідкий азот	<i>n</i> -Пентан	–131
Рідкий азот	1,5-Гексадієн	–141
Рідкий азот	Ізопентан	–160
Рідкий азот	–	–196
Рідкий Гелій	–	–269

Таблиця 7.3

Охолоджувальні суміші на основі неорганічних солей і льоду

Охолоджувальний агент	Речовина	Т (°C)	(г) речовини на 100 г H ₂ O
Лід	Na ₂ CO ₃	–2,0	20
Вода	NH ₄ NO ₃	–4,0	106
Вода	NaC ₂ H ₃ O ₂	–4,7	85
Вода	NH ₄ Cl	–5,1	30
Вода	NaNO ₃	–5,3	75
Вода	Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O	–8,0	110
Лід	CaCl ₂ · 6H ₂ O	–9,0	41
Лід	Ацетон	–10	100
Лід	KCl	–10,9	30
Вода	KI	–11,7	140
Вода	NH ₄ NO ₃	–13,6	60
Лід	NH ₄ Cl	–15,4	25
Лід	NH ₄ NO ₃	–16,8	45
Вода	NH ₄ SCN	–18,0	133
Лід	NaCl	–21,3	33
Лід	CaCl ₂ · 6H ₂ O	–21,5	81
Лід	H ₂ SO ₄ (66,2 %)	–25	23

<i>Закінчення табл.</i>			
Лід	NaBr	–28	66
Лід	H ₂ SO ₄ (66,2 %)	–30	40
Лід	C ₂ H ₅ OH	–30	105
Лід	MgCl ₂	–34	85
Лід	H ₂ SO ₄ (66,2 %)	–37	91
Лід	CaCl ₂ · 6H ₂ O	–40,3	123
Лід	CaCl ₂ · 6H ₂ O	–55	143

Розділ 8. Робота з вакуумними системи

У лабораторній практиці для проведення багатьох операцій – фільтрування, вакуумної перегонки, осушка речовин за зниженого тиску й інших – потрібно створити певне розрідження – вакуум.

Залежно від ступеня розрідження повітря використовують різні типи вакуумних насосів.

Згідно із Держстандартом України розрізняють різні градації вакууму:

	Тиск (мм рт. ст.)	Тиск (Па)*,**
Атмосферний тиск	760	$1,013 \cdot 10^5$
Низький вакуум	більше 1 (750–0,75)	від 100 кПа до 100 Па
Середній вакуум	від 1 до 10^{-3} (0,75– $0,75 \cdot 10^{-3}$)	від 100 Па до 0,1 Па
Високий вакуум	від 10^{-3} до 10^{-8} ($0,75 \cdot 10^{-3}$ – $0,75 \cdot 10^{-8}$)	від 0,1 Па до 10 мкПа
Надвисокий вакуум	нижче 10^{-8} ($0,75 \cdot 10^{-8}$)	нижче 10 мкПа

*ДСТУ 2758-94 Вакуумна техніка. Терміни та визначення. Наказ від 30.09.1994 № 240.

**Основною одиницею виміру тиску у Міжнародній системі одиниць (SI, з фр. *Système International d'Unités*) є Паскаль ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$). Проте, часто використовують й інші одиниці виміру, зокрема міліметр ртутного стовпа ($1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па}$). Детальніше див. табл. 9.1 переведення одиниць виміру тиску в дод. 9.

Залежно від ступеня розрідження повітря використовують різні типи вакуумних насосів.

Найбільш розповсюджені в лабораторній практиці насоси:

Тип насоса	Залишковий тиск
водоструминні насоси	0,8–2,6 кПа (6–20 мм рт. ст.)
масляні насоси (механічні вакуумні насоси з масляним наповненням)	70–400 Па (0,5–3 мм рт. ст.)
дифузійні паромасляні та паротутні насоси	$1,3\text{--}130 \text{ мПа}$ ($10^{-5}\text{--}10^{-3} \text{ мм рт. ст.}$)

Поширені види лабораторних операцій із застосуванням вакууму:

- перегонка органічних сполук (вакуум дозволяє знизити їхню температуру кипіння);
- висушування речовин (у вакуумі процес відбувається швидше та за нижчої температури);
- покриття деталей приладів металевими плівками;
- вимір пружності парів хімічних речовин;
- різні адсорбційні та абсорбційні процеси;
- вакуумна плавка металів і визначення газів, що містяться в них;
- плавлення, кристалізація та фільтрування хімічних речовин.

8.2. Основні джерела небезпеки та правила під час роботи з вакуумними системами

➤ Основні джерела небезпеки під час роботи з вакуумом

Головна небезпека під час роботи з вакуумними системами – це можливість вибуху. Водночас найбільш вразливим елементом, який має витримувати зовнішній тиск (до 1 МПа) є скляні частини приладдя. Якщо елементи устаткування не призначені для роботи під вакуумом або мають дефекти, вони можуть бути розчавлені зовнішнім тиском – відбувається вибух, тоді осколки скла розлітаються з великою швидкістю й можуть призвести до серйозних травм, розбризкування та потрапляння в атмосферу небезпечних речовин (токсичних, легкозаймистих, їдких тощо).

Варто враховувати, що сила вибуху й енергія осколків, що розлітаються, визначається об'ємом вакуумної системи, ніж величиною вакууму. Наприклад, вибух ексикатора місткістю 5 л), підключеного до водоструминного насоса значно небезпечніший, ніж розрив колбочки (місткістю 50 мл), у якій розрідження створено за допомогою високовакуумного насоса. Ураховуючи це, під час планування лабораторних операцій у вакуумі слід підбирати посуд відповідного розміру, не варто використовувати необґрунтовано великі колби й ін.

➤ **Загальні заходи безпеки під час роботи з вакуумними системами**

- ✓ *Роботи з використанням вакууму слід обов'язково проводити в захисних окулярах або масці!*
- ✓ Вакуумна установка або найбільш небезпечні її частини, наприклад, скляні ємності великого об'єму, повинні бути екрановані дротяною сіткою або захисним екраном з органічного скла. Вакуум-ексикатори й колби Бунзена перед роботою поміщають у спеціальні тканинні чохла або обгортають рушником. Ефективним запобіжним заходом є обклеювання вакуум-ексикаторів, скляних посудин Дьюара липкою прозорою поліетиленовою плівкою або скотчем.
- ✓ У процесі конструювання установки слід враховувати фізико-хімічні властивості сполук, що міститимуться в ній.
- ✓ Усі скляні деталі, які використовують для складання системи, потрібно попередньо перевірити на відсутність будь-яких дефектів скла (тріщин, пухирців, значних подряпин). Шліфи і крани необхідно ретельно очистити і змастити тонким шаром вакуумного мастила.
- ✓ Суцільнопаєні вакуумні установки повинні виготовляти лише досвідчені майстри-склодуви з високоякісного термостабільного скла. Особливу увагу варто приділяти зняттю внутрішніх напружень скла у приладі, що досягається шляхом його *відпалу* ("відпалюванню").
- ✓ Для складання вакуумних установок *не можна використовувати плоскодонні колби і склянки*, крім спеціально призначених для роботи за зниженого тиску (наприклад, колби Бунзена, запобіжні склянки – Тищенко, Вульфа й ін.).
- ✓ Перед початком роботи установку слід випробувати на герметичність і міцність при максимальному робочому розрідженні, вживши необхідних заходів безпеки.
- ✓ За необхідності нагрівання або сильного охолодження частин установки слід спершу створити необхідне розрідження й лише потім приступити до обережного нагрівання чи охолодження.

- ✓ За необхідності охолодження пасток рідким азотом можна використовувати лише попередньо випробувані посудини зі спеціального скла. Заборонено (!) використовувати для охолодження рідкий кисень або рідке повітря – унаслідок їх надзвичайно високої окисної здатності велика небезпека пожежі або вибуху.
- ✓ Роботи при високому та надвисокому вакуумі з особливо небезпечними речовинами (вибухонебезпечні, токсичні) виконують лише у спеціально обладнаних для цього лабораторіях.

8.3. Деталі вакуумних систем

➤ Запобіжні склянки і клапани

Обов'язковий запобіжний засіб під час роботи з водоструминними насосами полягає в установці запобіжних склянок. Їхнє призначення: по-перше, перешкоджатиме потраплянню води у вакуумну установку у процесі раптового "захливання" насоса внаслідок коливань напору у водопровідній системі; по-друге, під час випадкового перекидання рідин з установки перешкоджатиме безпосередньому потраплянню їх у водоструминний насос. Потрапляння води в установку неприпустимо з багатьох причин; у деяких випадках, наприклад у процесі перегонки під вакуумом висококиплячих рідин, це може призвести до вибуху.

Рекомендовані в деяких посібниках запобіжні клапани, зокрема поплавкові клапани і клапани Бунзена, недостатньо надійні й тому не можуть бути заміною запобіжних склянок. Навіть якщо знову встановлений клапан працює добре він незабаром перестав діяти, неминуче забруднюючись у процесі роботи. Ртутні клапани з пористої скляною пластинкою більш надійні, але створюють значний опір току газу під час вакуумування.

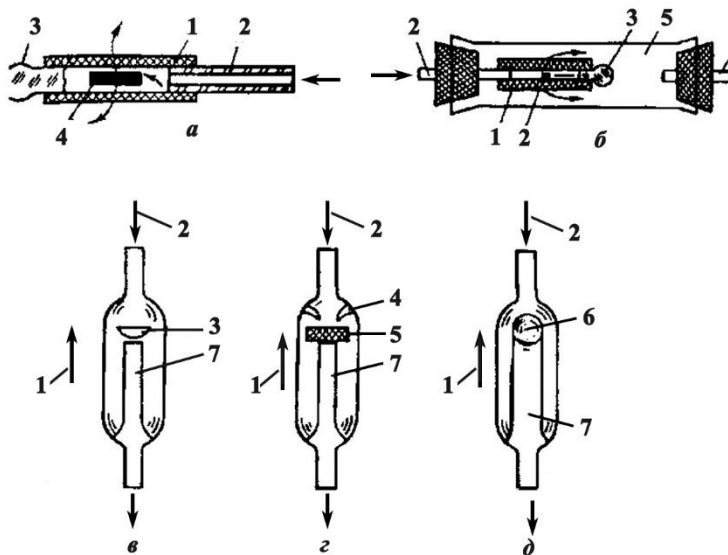


Рис. 8.1. Найпростіші клапани Бунзена (а, б), з годинниковим склом (в), з гумовою пластинкою (г) і фторопластовим кулькою (д):
 в – д: 1 – звичайний потік газу; 2 – потік газу з надлишковим тиском у системі; 3 – годинне скло; 4 – скляні шипи; 5 – гумова пластинка; 6 – кулька; 7 – трубка

Запобіжна склянка виконує свої функції лише в тому випадку, якщо її обсяг можна порівняти з об'ємом вакуумної системи. Однак занадто велика склянка створює незручності в роботі з огляду на невелику продуктивності водоструминного насоса. Практично рекомендується використовувати тригорлі склянки Вульфа або склянки Тищенка місткістю близько 1 л (рис. 8.2). Склянка Вульфа з сифонною трубкою, яка доходить до дна має переваги під час частого "захлинання" насоса – після відновлення нормальної роботи вода, що потрапила у склянку вийде по трубці. З іншого боку, за умови потрапляння у склянку цінної для експериментатора рідини (наприклад, фільтрату з колби Бунзена у процесі випадкового її переповнення або рідини, що переганяється під час перекидання її з перегонної колби внаслідок бурхливого кипіння) вона по тій самій трубці

потрапляє в насос. Склянка Тищенко прекрасно виконує функції пастки.

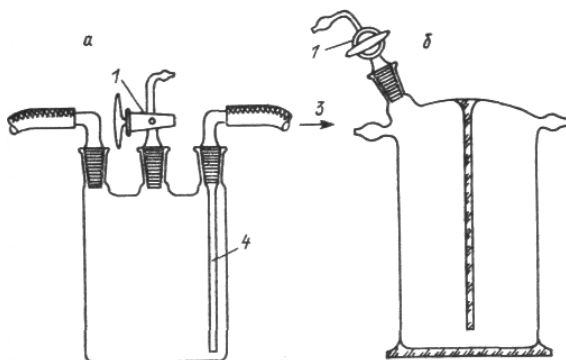


Рис. 8.2. Запобіжні склянки: Вульфа (а) і Тищенко для рідин (б):
1 – кран для впуску повітря в систему; 2 – відвід до вакуумованої системи; 3 – відвід до водоструминного насоса; 4 – сифонна трубка

Під час *створення водоструминним насосом вакууму в установках, що містять бурхливо реагуючі з водою речовини, варто дотримуватися додаткових заходів обережності*. Так, під час отримання хлорангідридів органічних кислот надлишок тіонілхлориду з реакційної маси рекомендується відганяти за допомогою водоструминного насоса. У подібних випадках доцільно використовувати установку для перегонки з вертикальним розташуванням холодильника: внутрішній обсяг холодильника відіграватиме роль буферної ємності, що запобігає потраплянню в запобіжну склянку реакційної маси у процесі її випадкового перекидання з перегонної колби. Від проникнення парів води з водоструминного насоса, установку варто захистити за допомогою додаткової запобіжної склянки, заповненої гранульованим осушувачем, наприклад хлоридом кальцію.

Певну небезпеку становить також створення вакууму за допомогою водоструминного насоса у вакуум-ексикаторах, що містять осушувачі, які енергійно реагують із водою – фосфорний ангідрид, їдкий калій й ін. Неприпустимо залишати ексикатор під час вакуумування без нагляду: у разі різкого падіння напору води запобіжна склянка може переповнитися і вода потрапить в

ексикатор, унаслідок чого може статися вибух. Утім, тривалий процес вакуумування ексикатора за допомогою водоструминного насоса не рекомендується не лише з міркувань техніки безпеки. Після досягнення максимального вакууму рух газів по шлангу, що з'єднує ексикатор і насос, припиняється (якщо відсутня підсмоктування повітря через плоский шліф ексикатора), і пари води починають надходити з насоса у внутрішній обсяг ексикатора, що призводить до зволоження осушуваного продукту. Тому, після досягнення максимального вакууму, кран ексикатора потрібно закрити. Щоб компенсувати падіння вакууму в ексикаторі, процес варто кілька разів повторити.

➤ **Поглиналина система**

Безпека експлуатації механічних вакуумних насосів багато в чому залежить від правильного складання вакуумної лінії й поглинальної системи.

Поглиналина система, яка встановлюється між насосом і вакуумним приладом, повинна, по-перше, забезпечувати надійний захист насоса від будь-яких парів і агресивних газів, а по-друге, мати по можливості мінімальний опір руху газу. Спосіб уловлювання парів летких речовин за допомогою адсорбентів або хімічних поглиначів не відповідає зазначеним вимогам. Оскільки не існує універсального поглинача, досить повне поглинання парів води, органічних розчинників і кислих газів може забезпечуватися лише батареєю з чотирьох-п'яти колонок із різними твердими поглиначами. Така батарея робить дуже великий опір потоку газу, що знижує продуктивність насоса, але головне – її доводиться часто розбирати для заміни або регенерації поглиначів. Однак частий демонтаж системи може спричинити як непродуктивні витрати праці, так і небезпеку поломки скляних колонок, тим більше, що для їхнього з'єднання використовуються малоеластичні та важкі вакуумні шланги великого діаметру.

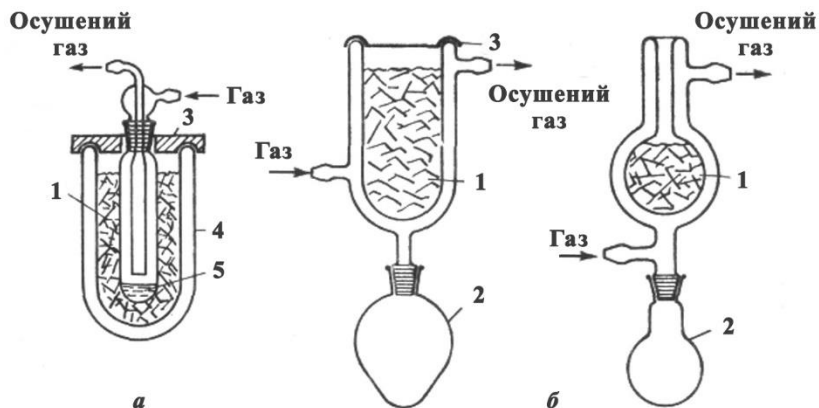


Рис. 8.3. Охолоджувальні пастки:

1 – охолоджувальна суміш; 2 – колбочка для прийому конденсату; 3 – кришка (а – пінопласт; б – поліетиленова); 4 – посудина Дьюара; 5 – конденсат

Останнім часом у зв'язку з доступністю твердого діоксиду вуглецю ("сухого льоду") широкого поширення набули охолоджувальні пастки (рис. 8.3) різних конструкцій. Як хладагент зазвичай використовують суміш сухого льоду з органічними розчинниками, наприклад ацетоном. Щоб уникнути бурхливого "скипання" розчинника, попередньо подрібнений у полотнянім мішку сухий лід невеликими шматочками додають до розчинника, що міститься у пастці або в посудині Дьюара. Температура суміші залишається постійною доти, доки в ній присутній надлишок сухого льоду. Під час роботи насоса слід періодично додавати сухий лід, не допускаючи розморожування пастки.

Поширена помилка під час роботи з охолоджувальними пастками полягає в довільному виборі розчинника для охолоджувальної суміші. Необхідно мати на увазі, що не всі розчинники дозволяють досягти достатнього охолодження. Нижче наведені температури охолоджувальних сумішей на основі твердого діоксиду вуглецю з різними рідинами.

Таблиця 8.1

Температури охолоджувальних сумішей на основі твердого
діоксиду вуглецю з різними рідинами

Рідина	t, °C	Рідина	t, °C
Етиленгліколь	-15	Діетиловий ефір діетиленгліколю	-52
Чотирхлористий вуглець	-23	Хлороформ	-61
о-Ксилол	-28	Етанол	-72
3-Гептанон	-38	n-Ксилол	-72
Ацетонітрил	-42	Ацетон	-77
Циклогексанон	-46	Діетиловий ефір	-77

Найбільш прийнятні розчинники для приготування охолоджувальної суміші – ацетон і етанол. Пожеже небезпечні властивості діетилового ефіру не є перешкодою під час його використання для цих цілей, оскільки утворюється газоподібний діоксид вуглецю, що є відмінним флегматизаторами горіння. Варто, однак, строго дотримуватися правила: після розморожування пастки негайно зливати розчинник у спеціальну склянку з етикеткою "Охолоджувальна суміш".

Абсолютно непридатні для заповнення пасток охолоджувальні суміші на основі мінеральних солей і снігу (або дробленого льоду). Так, хоча евтектична суміш хлориду кальцію зі снігом, що містить 100 мас. ч. $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ і 70 мас. ч. снігу, за умови попереднього охолодження солі до 0 °C теоретично здатна охолотитися до -54,9 °C, її теплоємність за цієї температури вкрай низька і становить лише 17,7 кал / г. За 0 °C ця ж суміш здатна поглинути 45,8 кал / г. Отже, охолоджувальні суміші з льоду й солі застосовуються для короточасного охолодження. Використання їх в охолоджувальних пастках, де потрібно більш тривалий час підтримувати низьку температуру, є самообманом. Досить ввести в пастку з такою сумішшю термометр, щоб виявити, що бажана температура якщо й досягнута, то всього на кілька хвилин.

Конструкція пастки, зображена на рис. 8.3а, не позбавлена серйозних недоліків. Під час конденсації пари речовин із температурою замерзання вище $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (у процесі охолодження сухим льодом) у внутрішній трубці накопичуються кристали вловлювальної речовини, що за тривалої роботи може призвести до утворення щільної пробки, а іноді – до аварії. Пастка не може закріплюватися стаціонарно, оскільки для видалення конденсату її необхідно розбирати. Якщо все ж виникає потреба у використанні такої пастки, варто звернути увагу на те, щоб внутрішня трубка була досить широкою. Умові сталості опору руху газу відповідає відношення діаметрів внутрішньої трубки й циліндра $1 : 1,6$. Під час роботи з пастками, що мають шліф, важливо не допускати його контакту з охолоджувальною сумішшю, що неможливо, якщо шліф розміщується всередині посудини Дьюара. Нарешті, підключення пастки необхідно проводити так, як показано на рисунку. Якщо ж пари надходитимуть спершу у вузьку трубку, підвищується ймовірність її закупорювання кристалічною масою.

Більш безпечні та зручні пастки, зображені на рис. 8.3б. Їхня місткість від 0,5 до 1 л, відстань між стінками 2–3 см. Пастку закріплюють у найбільш зручному місці всередині витяжної шафи. Додаткова перевага пастки – можливість спостерігати за ходом конденсації і станом охолоджувальної суміші, оскільки стінки її прозорі.

Пастки, що охолоджуються сумішами на основі діоксиду вуглецю, ефективно вловлюють пари низькокиплячих розчинників. Варто уникати використання механічного насоса в тих випадках, коли можна обійтися водоструминним. Так, відкачування вакуум-ексикатора під час сушіння речовин від води й органічних розчинників необхідно проводити за допомогою водоструминного насоса. Помилкою є також використання масляного насоса для відгонки легколетких органічних розчинників – хлороформу, бензолу, толуолу. Відгонку таких розчинників необхідно проводити у вакуумі водоструминного насоса і лише після повного видалення легколеткої фракції можна підключати масляний насос.

Оцінити можливість уловлювання парів різних рідин в охолоджувальних пастках можна за допомогою табл. 8.2.

Практично температура охолоджувальної суміші повинна бути щонайменше на 20–30 °С нижче температури конденсації рідини за цього вакуума.

Необхідна площа конденсації визначається кількістю пари, що надходять в одиницю часу.

Варто враховувати, що повнота конденсації залежить не лише від температури стінки пастки, але і від швидкості руху пари, інтенсивності тепловідведення й ін. ***Навіть незначне підсмоктування повітря у вакуумну систему збільшує швидкість руху парів у пастці й різко знижує її ефективність.*** На цей факт слід звернути особливу увагу під час використання механічних насосів для вакуумної перегонки. Регулювання тиску під час перегонки нерідко здійснюється шляхом впуску повітря у вакуумовану систему. Кран для впуску повітря слід розташовувати так, щоб повітря потрапляло безпосередньо в насос, а не проходило через поглинальну систему. В іншому випадку за будь-якої конструкції пастки вона практично перестає діяти.

Таблиця 8.2

Характеристики розчинників

Розчинник	Температури конденсації насичених парів (°С) за різних тисків (у мм рт. ст*.)				Температура плавлення °С	Q _{вип} , кал/г**	Q _{пл} , кал/г**
	760	100	10	1			
Аміак	–33,6	–68,4	–91,9	–109,1	–77,7	328,3	79,5
Діетиловий спирт	34,6	–11,5	–48,1	–74,3	–116,6	83,8	23,5
Ацетон	56,5	7,7	–31,1	–59,4	–94,6	123,5	23,4
Метанол	64,7	21,2	–16,2	–44,0	–97,8	262,8	23,7
Чотирихлористий вуглець	76,7	23,0	–19,6	–50,0	–22,6	46,4	41,6
Етанол	78,4	34,9	–2,3	–31,3	–112,0	204,3	25,8
Циклогексан	80,7	25,5	–15,9	–45,3	6,6	85,6	7,6

Гептан	98,4	41,8	-2,1	-34,0	-90,6	76,5	33,5
Вода	100,0	51,6	11,2	-17,3	0,0	540,5	79,8
Діоксан	101,1	45,1	-1,2	35,8	11,0	94,6	34,9
Толуол	110,6	51,9	6,4	-26,7	-95,0	26,8	17,2
Піридин	115,4	57,8	13,2	-18,9	-42,0	107,4	22,4
Оцтова кислота	118,1	63,0	17,5	-17,2	16,7	96,8	46,7
Етиленгліколь	197,3	141,8	92,1	53,0	-15,6	191,1	17,2
* 1 мм рт. ст.=113,3 Па							
** 1 кал = 4,19 Дж							



Рис. 8.4. Схема збірки вакуумної системи:

1 – ртутний вакуумметр; 2 – триходовий вакуумний кран;
 3 – охолоджувана пастка; 4 – поглинальні склянки з гранульованим осушувачем (склянки Тищенко для сипучих матеріалів); 5 – кран для впуску повітря в систему

Після охолоджуваної пастки рекомендується встановити одну колонку із гранульованим поглиначем, який обирають залежно від характеру роботи. Якщо можливе потрапляння у вакуумну систему невеликої кількості надзвичайно шкідливих для насоса кислих парів, наприклад хлороводню, обов'язкова наявність колонки із гранульованим лугом. За справної дії охолоджуваної пастки необхідність заміни твердих поглиначів виникає досить рідко.

8.4. Збирання вакуумної лінії

Взаємне розташування насоса, поглинальної системи і вакуумної установки повинно забезпечити мінімальну протяжність вакуумної лінії. На рис. 8.5 зображена схема одного з можливих варіантів збірки вакуумної лінії. З'єднання деталей здійснюють за допомогою вакуумних шлангів із діаметром отвору не менше 8–10 мм і товщиною стінок 3–6 мм. Скляні деталі міцно (але акуратно!) закріплюють у зручному місці й екранують металевою сіткою або захисним екраном з оргскла.

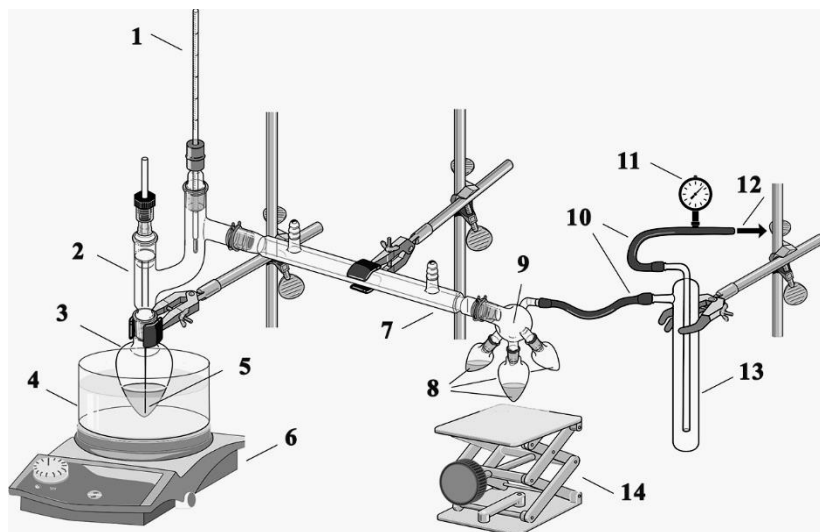


Рис. 8.5. Схема одного з можливих варіантів збірки вакуумної лінії:

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1 – термометр; | 8 – колби-приймачі; |
| 2 – насадка Кляйзена; | 9 – алонж "павук"; |
| 3 – колба перегонна; | 10 – вакуумні шланги; |
| 4 – баня масляна; | 11 – манометр; |
| 5 – капіляр; | 12 – до вакуумного насоса; |
| 6 – нагрівальний прилад; | 13 – захисна посудина "Пастка"; |
| 7 – холодильник; | 14 – лабораторний ліфт |

Варіанти альтернативних збірок вакуумних ліній див. на рис. 8.6, дод. 8.

Коли рідина за нормальних умов має занадто високу температуру кипіння або під час нагрівання до високої температури зазнає розкладу або інших хімічних перетворень, її переганяють під зменшеним тиском.

Зниження температури кипіння рідини, що досягається зменшенням тиску, сприяє збереженню хімічної індивідуальності речовини, що переганяється. Чим вище вакуум під час перегонки речовини, тим нижчою буде температура кипіння сполуки й більше впевненості в максимальному збереженні речовини та відсутності процесів деградації.

Прилад для перегонки під вакуумом складається з перегонної колби, забезпеченої капіляром і термометром, холодильника, приймача, манометра, скляного крана і запобіжної склянки Вульфа, що включається між насосом і манометром.

Для перегонки у вакуумі не потрібно особливо високого розрідження – зазвичай користуються водоструминним (6–20 мм рт. ст. залишкового тиску) або масляним насосом (0,05–0,1 мм). У процесі перегонки пари речовин конденсуються під час охолодження в холодильнику і збиратися у приймач.

Варто дотримуватися таких правил безпеки під час вакуумної перегонки (які здебільшого повторюють загальні заходи безпеки у процесі роботи з вакуумними системами):

- ✓ обов'язково одягати захисні окуляри;
- ✓ перед наповненням перегонної колби вакуум-приладу перевірити його на герметичність. Під час випробування приладу на герметичність обов'язково поставити захисний екран;
- ✓ після випробування колбу слід наповнювати лише через лійку з довгим носиком, вставлену в горло колби.
- ✓ перед вакуумною перегонкою з речовини повинні видалятися розчинники (ефір, спирт, бензол, толуол, особливо вода). Повністю відганяйте низькокиплячі розчинники за атмосферного тиску або на

водоструминному насосі й лише після цього можна застосувати масляний вакуум-насос;

- ✓ не варто на масляних вакуум-насосах переганяти речовини, під час перегонки або частковому розкладанні яких виділяються кислі пари. Такі речовини слід переганяти у вакуумі водоструминних насосів;
- ✓ не можна створювати вакуум у перегонній колбі, наповненій гарячою рідиною. А після відгону розчинника, в свою чергу, вміст колби треба охолодити і лише тоді ввімкнути вакуум-насос;
- ✓ перед пуском насоса триходовий кран переводять у положення, за якого прилад і вакуум-насос з'єднані з атмосферним повітрям. Увімкнувши мотор, обережно й повільно перекривають краном сполучення з атмосферним повітрям і відкривають кран вакуум манометра;
- ✓ починайте підігрівання перегонної колби лише після досягнення сталості розрідження у приладі, водночас треба стежити, щоб температура рідини, яку переганяємо, піднімалася повільно;
- ✓ закінчивши перегонку на вакуум-установці й давши колбі охолодитися, перекрийте кран вакуум-манометра, а потім плавно і поступово поверніть триходовий кран у положення, при якому прилад і вакуум-насос з'єднуються з атмосферою – лише тоді потрібно вимикати мотор. Порушення цього правила призводить до перетягування масла з насоса в запобіжну систему з поглиначами (натронне вапно, хлористий кальцій, активоване вугілля) і виводить з ладу насос;
- ✓ під час роботи у вакуумі з вибуховими речовинами потрібно бути особливо обережним. Якщо речовина вибухає на повітрі, то варто ретельно змащувати шліфи приладу, щоб не було підсмоктування повітря, інакше неминучий вибух;
- ✓ варто у всіх випадках дуже ретельно підбирати змазку, оскільки деякі органічні сполуки можуть давати зі змазкою вибухові речовини, що особливо небезпечно під

час роботи у вакуумі. Ще краще користуватися апаратурою на шліфах високої точності й обходитися без змашування;

- ✓ ніколи не варто допускати місцевих перегрівів – це також може призвести до вибуху.

8.5. Висушування за низьких температур і зниженого тиску

Висушування речовин, які легко розкладаються або змінюються під час нагрівання до 100 °С, зазвичай проводять у вакуумі.

Для цієї мети користуються так званими вакуум-сушильними шафами. Зазвичай вони бувають циліндричної форми й герметично закриваються. Усередині їх є дві полиці, в окремих випадках – одна. Вакуум-сушильна шафа має двостінну будову з міжстінним проміжком, заповненим рідким теплоносієм. Підігрів проводять газовим пальником або електрикою. Найчастіше в лабораторіях користуються вакуум-ексикаторами.

Вакуум-ексикатори – прилади, що застосовуються для висушування у вакуумі речовин, що містять важколеткі розчинники. Вакуум-ексикатори закриваються скляними кришками, краї яких притерті до верхньої частини циліндра. У кришці є отвір, що закривається гумовою пробкою з вставленою в неї трубкою з краном, або ж вона має тубус із притертою пробкою, у якій розміщується скляна трубка із краном. Це дає можливість з'єднувати ексикатор із вакуум-насосом і, створюючи всередині ексикатора зменшений тиск, проводити висушування під вакуумом. Між вакуум-ексикатором і вакуум-насосом зазвичай поміщають манометр і запобіжну склянку.

Деякі вакуум-ексикатори мають пристосування для обігріву електрикою. У такому ексикаторі можна вести висушування у вакуумі під час нагрівання.

Впускати повітря у вакуум-ексикатор потрібно повільно й дуже обережно, оскільки струменем атмосферного повітря може розкидати речовину, що осушується. Тож впускний кран

потрібно повертати дуже повільно і знімати кришку лише після того, як тиск в ексикаторі стане рівним зовнішньому.

Перед роботою нові вакуум-ексикатори потрібно обов'язково випробувати, оскільки нерідко неперевірені ексикатори під час зниження тиску лопаються. Особливо це стосується великих вакуум-ексикаторів. Перед випробуванням новий вакуум-ексикатор варто обгорнути рушником або старим халатом і тільки після цього піддавати вакуумуванню. Випробування вакуум-ексикатора слід проводити за максимально можливого вакууму не менше 15 хв.

Розділ 9. Робота з газами

Під час роботи з газами використовують такі одиниці вимірювання тиску газів: *фізична атмосфера* (атм, atm), *Паскаль* (Па, Pa, Н/м²), *бар* (бар, bar, 10⁶ дин/см²), *кілограм-сила на квадратний сантиметр* (кгс/см²), *міліметр ртутного стовпа* (мм рт. ст., mm Hg, Torr, торр), *фунт-сила на квадратний дюйм* (psi) (див. дод. 9). Співвідношення між одиницями виміру:

$$1 \text{ атм} = \begin{cases} 0,1013 \text{ МПа} \\ 1,013 \text{ бар} \\ 1,033 \text{ кгс/см}^2 \\ 760 \text{ мм рт. ст.} \\ 14,7 \text{ psi} \end{cases}$$

9.1. Джерела небезпеки

Багато газів надходять у лабораторію в сталевих балонах у *стисненому* (азот, аргон, водень, гелій, кисень й ін.), *зрідженому* (аміак, вуглеводні за винятком метану, діоксид вуглецю, фреони, хлор) або *розчиненому* (ацетилен) стані (див. дод. 9, табл. 9.2). Невеликі кількості газів за необхідності отримують хімічним шляхом безпосередньо в лабораторії.

За своїм небезпечним властивостям всі гази поділяються на п'ять груп, причому деякі належать не до однієї, а до декількох груп:

- 1) *горючі та вибухонебезпечні* (водень, сірководень, аміак, оксид вуглецю, вуглеводні);
- 2) *гази, що підтримують горіння* (кисень, повітря, хлор);
- 3) *інертні і негорючі* (азот, аргон, гелій, діоксид вуглецю);
- 4) *отруйні* (аміак, сірководень, фосген, хлор, ціановодень, оксид вуглецю);
- 5) *їдкі та які призводять до корозії* (хлор, аміак, озон, хлороводень, діоксид сірки, діоксид азоту).

Належність газів до тієї чи іншої групи певною мірою умовна. Наприклад, діоксид вуглецю не належить ані до горючих, ані до тих, що підтримують горіння. Однак, лужні метали горять у його

атмосфері. Крім того, літій може горіти в атмосфері азоту, який вважається інертним газом. Неотруйні інертні гази й діоксид вуглецю можуть викликати задуху під час значного витoku в замкненому просторі, витісняючи кисень із зони дихання.

Крім того, наведена класифікація не враховує всіх видів небезпеки у процесі роботи з газами. Так, хімічна активність газів аж ніяк не вичерпується їхньою кородуючою дією. Ацетилен, наприклад, віднесено до групи вибухонебезпечних газів, через властивості його сумішей із повітрям, а також здатності до вибухового розкладу за відсутності кисню й інших окисників. Однак не меншу небезпеку становлять ацетиленіди металів, які можуть утворюватися у процесі взаємодії ацетилену з водними розчинами солей міді, срібла, ртуті. За тривалого контакту вологого ацетилену, що містить аміак, із червоною міддю або сплавами з вмістом міді вище 70 % утворюється вибухонебезпечний ацетиленід міді. Унаслідок взаємодії діоксиду азоту з деякими органічними сполуками в певних умовах можуть утворюватися надзвичайно вибухонебезпечні полінітросполуки.

Небезпека роботи з балонами пов'язана не лише з горючістю, вибухонебезпечністю, токсичністю або агресивністю газів, які містяться в них, але також із високим тиском газу в балоні – до 150 атм, що само по собі може стати причиною вибуху під час падіння балона або його перегріву. Крім того, у процесі аварійних витоків газів із балонів небезпечні концентрації утворюються значно швидше і в більших об'ємах, ніж під час розливу горючих або отруйних рідин.

Проте, під час роботи з газами у скляній апаратурі навіть за нормального тиску, варто враховувати, що перераховані небезпечні властивості посилюються їхнім агрегатним станом. Якщо витік рідини із приладу під час роботи відбувається, зазвичай тільки внаслідок аварії й навряд чи може залишитися непоміченим експериментатором, витік газу може бути наслідком випадкової розгерметизації й зовні ніяк не проявлятися.

У приладах, де відбуваються хімічні і фізичні процеси за участю газоподібних речовин, серйозну небезпеку

представляють можливі коливання тиску. Особливо велика небезпека під час проведення процесів, пов'язаних зі зміною агрегатного стану – незначні температурні коливання можуть викликати швидке випаровування сконденсованого газу. Якщо ця обставина не передбачена в конструкції приладу, результатом можуть бути викид реакційної маси, вибух або інші неприємні наслідки.

Існує реальна небезпека переплутати газ за нечіткої ідентифікації вмісту балона. Хоча маркування сталевих балонів для газів з обов'язковим нанесенням напису з назвою газу (див. дод. 9, табл. 9.2, 9.3), здавалося б, повинно виключати помилки, в обігу іноді перебувають балони зі стертим написом. До того ж система розпізнавального забарвлення балонів складна і не цілком логічна. Наприклад, балони зі стисненим повітрям, що є сильним окисником, пофарбовані в той самий чорний колір, що й балони з інертним азотом і сирим аргоном. Немає потреби пояснювати, що помилкове використання стисненого повітря замість азоту може привести до дуже серйозної аварії. *Щоб уникнути помилок, слід категорично відмовитися від використання балонів без напису або з нерозбірливим написом.*

9.2. Загальні запобіжні заходи

Під час роботи з газами за атмосферного тиску.

Усі запобіжні заходи під час роботи з газами так чи інакше спрямовані на те, щоб виключити можливість неконтрольованого витоку газів в атмосферу. У процесі роботи з горючими та вибухонебезпечними газами, так само як під час роботи з ЛЗР, необхідно видаляти або захищати можливі джерела займання.

Будь-які роботи, пов'язані з отриманням, застосуванням або поглинанням пожежонебезпечних, токсичних або агресивних газів слід проводити лише у витяжній шафі.

➤ Забезпечення герметичності

Під час складання приладів для роботи з газами особливу увагу варто приділяти забезпеченню герметичності. З'єднання окремих елементів приладів здійснюються за допомогою конусних взаємозамінних шліфів, гумових або полімерних шлангів.

Конусні шліфи повинні бути ретельно змащені. Особливо жорсткі вимоги висуваються до мастил для шліфів, що контактують з агресивними газами. Для роботи з газоподібним хлором, оксидами азоту можна рекомендувати мастила на основі олігомерів трифторхлоретилену; у багатьох випадках виправдане застосування сироподібної фосфорної кислоти.

Під час роботи з газами обов'язковою вимогою техніки безпеки є зміцнення шліфів за допомогою сталевих пружинок або гумових кілець; мимовільне роз'єднання шліфів у ході роботи необхідно повністю виключити.

У процесі з'єднання частин приладів гумовими або полімерними шлангами слід враховувати можливість впливу газів на матеріал шлангу. У будь-якому випадку для складання приладів варто використовувати абсолютно чисті, краще нові шланги. За умови використання тонкостінних шлангів із гуми, силіконового каучуку, полівінілхлориду слід виключити можливість перегину шланга у процесі роботи.

Узагалі під час компонування газової лінії необхідно прагнути до зменшення довжини шлангів; уся установка повинна бути компактною і, головне, зручною для роботи.

Перед роботою із приладом його обов'язково перевіряють на герметичність. Найбільш надійна перевірка за допомогою вакууму – для цього до зібраного приладу приєднують вакуумметр, відкачують із системи повітря масляним або водоструминним насосом, потім перекривають вакуумну лінію і спостерігають за падінням вакууму. Прилад можна вважати герметичним, якщо показання вакуумметра не змінюються впродовж принаймні кількох хвилин.

➤ ***Контроль і регулювання тиску та витрати газу***

Якщо скляний прилад для роботи з газами не з'єднаний з атмосферою, він повинен обов'язково забезпечуватися чутливим манометром, автоматичним регулятором тиску (маностатом) або клапаном надлишкового тиску. Маностат слід відрегулювати так, щоб надлишковий тиск у приладі не перевищував кількох десятків міліметрів ртутного стовпа. Хоча круглодонний скляний посуд, що використовується для роботи під вакуумом, витримує надлишковий тиск до 1 атм, небезпека роботи за підвищеного

тиску значно вища, ніж в умовах вакууму. За необхідності підвищення тиску у приладі до 1 атм слід вживати особливих заходів безпеки. Скляні частини установки повинні бути лише товстостінними, а колби – круглодонні; неприпустимі подряпини й інші дефекти скла. Для з'єднання окремих частин приладу в цьому випадку використовують лише вакуумні шланги, які обов'язково закріплюють на трубках, для чого обмотують в місці кріплення ізоляційною стрічкою й міцно прикручують шнуром або м'яким дротом. Якщо газ подається у прилад із генератора або газового балона, необхідно контролювати не лише тиск, а й витрату газу. З цією метою використовують різного типу реометри, газові годинник або в найпростішому випадку – лічильники бульбашок. Робота з неконтрольованими газовими потоками не завжди достатньо безпечна.

➤ **Запобігання викиду газу в атмосферу**

Нарешті, важливою вимогою техніки безпеки під час робіт із будь-якими газами, крім інертних, є неприпустимість викиду газу безпосередньо в атмосферу. Газоподібні речовини, що виділяються в ході реакції, особливо агресивні й отруйні, варто поглинати у спеціальних поглинаючих склянках. У багатьох випадках у процесі поглинання агресивних газів захищається від корозії не лише апаратура розташована у витяжній шафі, а й побічно утворюються корисні розчини в лабораторній практиці.

9.3. Робота з газовими балонами

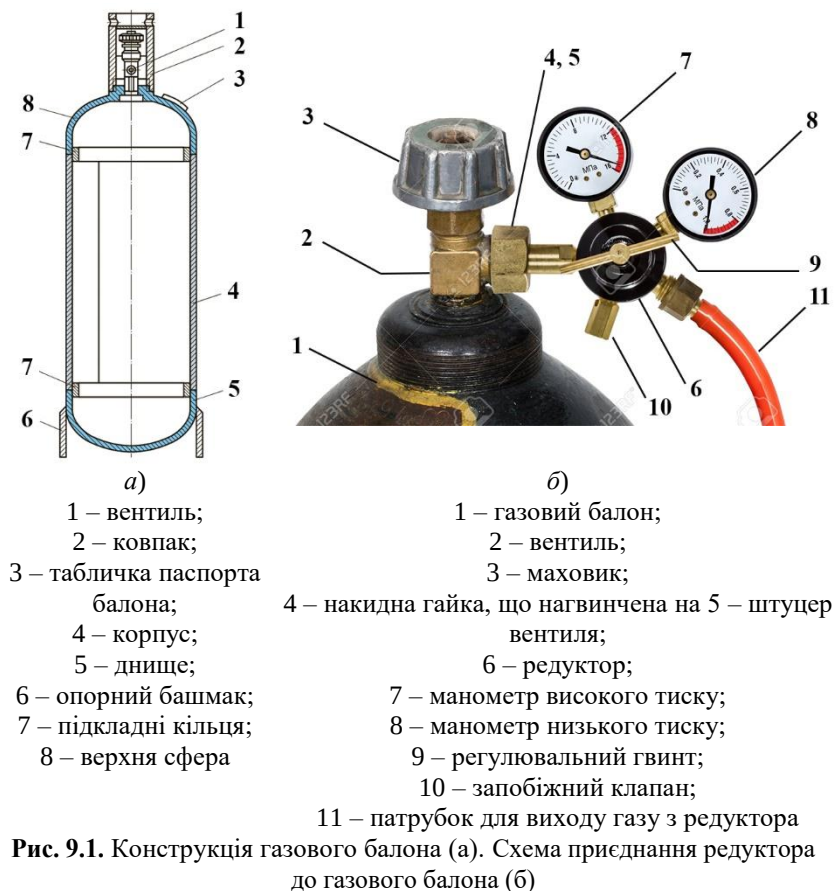


Рис. 9.1. Конструкція газового балона (а). Схема приєднання редуктора до газового балона (б)

➤ Підготовка газового балона до роботи

Для відбору газу балони готують до роботи в такому порядку.

Ковпак відкручують рукою або, у крайньому випадку, ключем. Категорично **забороняється** вдаряти по ковпаку металевими предметами.

Після зняття ковпака уважно оглядають *вентиль 2* і переконуються у відсутності жиркових слідів, пошкоджень різьби, витоку газу. Якщо на вентилі помічено наявність масла, то таким балоном користуватися не можна. *Вентиль* після огляду і перед

приєднанням *редуктора* продувають для видалення бруду або стружки, які можуть потрапити в *редуктор* і зіпсувати його клапан. Для цього *вентиль* відкривають на 1–2 с шляхом повороту *маховика 3* на чверть оберту. Водночас слід стояти збоку від *штуцера вентилля*, щоб в разі вильоту з вентилля дрібних металевих частинок не поранити обличчя. Якщо не відкривається або спостерігається витік газу (*вентиль "труїть"*), то балон необхідно відставити для повернення на завод.

Відбір газу з балона повинен здійснюватися лише через *редуктор 6*, призначений для цього газу, що має однакове з балоном забарвлення. ***Відбір газу з балона без редуктора забороняється.***

Перед приєднанням *редуктора* варто переконатися у відсутності на всіх деталях слідів масла й забруднень. Далі перевіряють справність прокладки та різьби *накидної гайки 4* на *штуцері редуктора*. Приєднують *редуктор* до балона при ослабленому *регульовальному гвинті 9*, а саме вивернутому проти годинникової стрілки до повного ослаблення *натискної пружини*. Схема приєднання *редуктора* до газового балона зображена на рис. 9.1б.

Повільним обертанням *маховика* відкривають *вентиль* балона і встановлюють робочий тиск газу за допомогою *регульовального гвинта* *редуктора*, стежачи за показаннями *манометра високого тиску 7*.

Відбір газу з балона здійснюють, повільно обертаючи *регульовальний гвинт* за годинниковою стрілкою до встановлення потрібного тиску, стежачи за показаннями *манометра низького тиску 8*, або до встановлення потрібного потоку газу за допомогою лічильника бульбашок. Якщо газ із балона надходить у скляний прилад, він повинен сполучатися з атмосферою, оскільки в іншому випадку тиск усередині приладу швидко зростає, що може призвести до вибуху.

Після закінчення роботи закривають *вентиль* балона, випускають газ із *редуктора*, що перевіряють за *манометром високого тиску*. Потім обертанням *регульовального гвинта* проти годинникової стрілки послаблюють *натискну пружину*. Не слід залишати *редуктор* на тривалий час зі стисненою *натискною*

пружиною для запобігання її псуванню. **Забороняється** залишати балон без нагляду з незакритим вентилям або з неослабленим регулювальним гвинтом редуктора.

9.4. Безпека під час експлуатації балонів

9.4.1. Техніка безпеки під час зберігання, транспортування та експлуатації газових балонів

Безпечна експлуатація балонів забезпечується:

- ✓ необхідною механічною міцністю балонів і належним контролем за їхнім станом;
- ✓ запобіганням помилкового наповнення балонів іншими газами (наприклад, балонів для негорючих газів – горючими; балонів для горючих газів – киснем);
- ✓ дотриманням правил наповнення, транспортування, зберігання та використання балонів.

Експлуатація, транспортування та зберігання балонів на підприємстві повинні здійснюватися відповідно до вимог інструкції, затвердженої в установленому порядку. Працівники, які обслуговують балони, повинні пройти навчання та інструктаж відповідно до чинної нормативної документації.

Під час отримання зі складу кожен балон повинен ретельно оглядатися. Поверхня оболонки балонів повинна бути рівною, гладкою, без вм'ятин та інших дефектів.

Користуватися балоном **забороняється** за наявності пошкоджень корпусу (тріщини, вм'ятини) або вентиля, за наявності витоку газу або після закінчення терміну чергового огляду.

9.4.2. Транспортування газових балонів

Перевезення балонів на великі відстані повинно проводитися на ресорних транспортних засобах. Під час перевезення балони повинні укладатися вентилями в один бік і спиратися на спеціальні дерев'яні прокладки з вирізами, що перешкоджають перекочуванню балонів і ударів один об одного.

Вентилі повинні бути захищені сталевими або чавунними запобіжними ковпаками, що накручені на горловину балона до упора.

Балони зі *зрідженими газами* перевозяться у *вертикальному положенні* вентилем догори.

Забороняється перевозити разом балони з киснем і з горючими газами, як заповнених так і порожніх.

Транспортувати балони можна лише на спеціальних ручних візках (до двох балонів) або ношах, де балон щільно закріплюється ланцюгом або хомутом (див. дод. 9).

Під час транспортування у вантажних ліфтах балони повинні закріплюватися вертикально на візках або у спеціальних пристроях, якими обладнується ліфт.

Переміщення балонів із місця на місце в межах одного приміщення на невелику відстань дозволяється проводити шляхом кантування у злегка нахиленому положенні.

Забороняється переносити балони на руках, на плечах або на спині.

У процесі транспортування й установки балонів варто обережати їх від нагрівання, поштовхів, ударів, падінь. Під час сильного удару балон може вибухнути. У літню пору наповнені балони повинні бути захищені від нагрівання сонячними променями.

Наповнені балони зберігаються у спеціальних приміщеннях. За необхідності зберігання балонів на відкритому повітрі, їх треба захищати від впливу опадів і сонячних променів, облаштовуючи дерев'яні або брезентові навіси.

9.4.3. Зберігання газових балонів

Для зберігання й установки газових балонів виділяють спеціальні приміщення або металеві бокси, розташовані поруч із лабораторним корпусом.

Підводка газів від балонів до робочого місця монтується працівниками відповідних служб за допомогою мідних або сталейних (для *ацетилену*!)* трубок. **Забороняється** встановлювати в одному приміщенні балони з киснем і горючими газами.

Забороняється встановлювати безпосередньо в робочих приміщеннях балони з *горючими* і тими, що *підтримують*

* Згадайте, чому не можна мідні трубки використати для ацетилену?

горіння, а також з отруйними газами. В окремих випадках, за погодженням з відділом Охорони праці, допускається установка у спеціально обладнаних робочих приміщеннях балонів із горючими газами місткістю до 12 л.

У робочому приміщенні допускається установка балонів з *інертними газами й діоксидом вуглецю*, однак за можливості їх також рекомендується розміщувати у спеціальних приміщеннях або боксах.

Працювати з балонами, що містять *хлор, фосген, сірководень, сірчистий газ, аміак*, можна лише у призначених для роботи з цими газами лабораторіях, що мають вентиляцію підвищеної потужності (15–20-кратний обмін повітря).

Під час роботи з *воднем*, перед тим як пускати водень у прилад або установку, потрібно ретельно *продути установку* або прилад *інертним газом* для витіснення повітря.

На робочому місці балони для запобігання їхньому падінню повинні бути міцно *закріплені у вертикальному положенні* до робочого столу або стіни залізними хомутами, ланцюгом або їх встановлюють у спеціальних стійках.

Балони повинні розташовуватися на відстані не менше **1 м** від джерел тепла (електроприладів, радіаторів опалення) і не менше ніж **5 м** від установок із відкритим полум'ям. Балон слід оберегти від нагрівання сонячними променями.

9.4.4. Правила експлуатації газових балонів

Забороняється знімати ковпак із балона ударами молотка, за допомогою зубила або іншими засобами, здатними утворити іскру. Якщо ковпак не відкручується, балон повинен бути відправлений на завод (цех) наповнювача.

Під час роботи у приміщенні необхідно ретельно стежити за герметичністю балонів. Усі газові балони мають забезпечуватися справними редукторами та вентилями.

Перед *відбором газу* потрібно переконатися у *відсутності витоку газу* в місцях з'єднань, по різьбі манометрів – для цього місця з'єднань змащують мильною піною. Пропуски газу небезпечні, оскільки ацетилен і інші горючі гази утворюють із повітрям вибухові суміші. Під час виявлення витоку горючих

газів із балона у приміщення роботи з відкритим вогнем повинні бути негайно припинені.

Із виявленням витіку необхідно негайно закрити вентиль балона, випустити з редуктора газ і усунути несправність – підтягнути різьбові з'єднання, змінити прокладку накидної гайки тощо. Якщо неможливо перекрити вентиль – балон видаляють у безпечне місце з дотриманням усіх запобіжних заходів і залишають під наглядом до повного виходу газу.

Забороняється підтягувати якісь деталі, зокрема, накидної гайки редуктора з відкритим вентилем балона та не скинувши попередньо тиск газу в редукторі. **Не дозволяється** ремонтувати редуктор, встановлений на балоні, а також самостійно ремонтувати вентиль балона. **Забороняється** експлуатація балона з вентилем, що пропускає газ.

Ремонт редуктора повинен проводитися в ремонтній майстерні спеціальним персоналом. Не менше одного разу на рік редуктори необхідно здавати на перевірку у службу контрольно-вимірювальних приладів підприємства. **Не дозволяється** користуватися несправними редукторами, або у яких закінчився термін придатності. **Не можна** користуватися балонами, термін випробування яких закінчився, балонами з несправними вентилями. У тих випадках, коли через несправність балонів газ не може використовуватися, балон підлягає відправці на завод (цех) наповнювача з написом крейдою "Обережно-повний" або "Повний, вентиль несправний".

Не можна випускати весь газ із балона! При досягненні в балоні залишкового тиску (0,5–1,5) атм необхідно припинити роботу, щільно закрити вентиль, зняти редуктор, закрутити заглушку на штуцер вентиля, одягнути ковпак на балон, після чого відправити його на перезарядку, написавши на корпусі напис крейдою: "≈1 атм" або "порожній".

Балони зі стисненим газом мають велику небезпеку під час пожежі, оскільки від нагрівання підвищується тиск газу всередині балона. За температури 600 °С залишкова міцність балонів становить 30–40 % від початкової. Найбільш *небезпечні* під час *пожежі* балони з *ацетиленом* і *зрідженими газами*, за критичної температури в балонах зі зрідженими газами різко

підвищується тиск, тому що весь газ переходить газоподібний стан. У ацетиленових балонах за температури 70–75 °С настає різкий стрибок тиску, оскільки зменшується розчинність ацетилену в ацетоні. За 100 °С ацетон взагалі не розчиняє ацетилен. Весь ацетилен виділяється з ацетону й тиск зростає до 200 атм і вище. Розрив *ацетиленового балона* відбувається за температури близько **100 °С**. Балони зі *стисненими газами* (кисень, водень, азот) витримують температуру порядку 200–300 °С і розриваються за **400–500 °С**.

9.5. Ацетиленові балони

Для відкривання вентиля ацетиленового балона повинен бути спеціальний *торцевий ключ*. Під час роботи цей ключ весь час повинен розміщуватися на *шпінделі* вентиля балона. **Забороняється** використання звичайних гайкових ключів для відкривання *вентиля* ацетиленового балона.

У всіх випадках ацетиленові балони потрібно захищати від сильного нагрівання, під час якого зменшується розчинність ацетилену в ацетоні та підвищується тиск у балоні. Так, наприклад, в ацетиленовому балоні з підвищенням температури від 20 до 100 °С тиск може зрости більш ніж в 11 разів, водночас як у кисневому балоні за цих умов тиск зросте приблизно в 1,3 рази.

Витрата ацетилену з одного балона не повинна перевищувати 1500–2000 л/год. За більшої витрати з ацетиленом виноситиметься багато ацетону, що неприпустимо. У таких випадках варто користуватися кількома балонами через розподільну рампу. Слід також припиняти відбір ацетилену, коли тиск у балоні впаде до 1–2 кг/см², бо під час надмірного спорожнення ацетиленових балонів дуже зростає винесення ацетону. Крім того, залишок газу в ацетиленовому балоні, так само, як і в кисневому балоні, необхідний для перевірки балонів на заводі-наповнювачі.

Вміст ацетилену в повітрі робочої зони необхідно безперервно контролювати автоматичними приладами, що сигналізують про перевищення допустимої вибухобезпечної концентрації ацетилену в повітрі.

Забороняється працювати з ацетиленовими балонами, що перебувають у *горизонтальному* положенні (для запобігання виносу ацетону), із незакріпленими балонами, із несправними балонами; необхідно використовувати інструменти, що не утворюють іскри, освітлення й електричне обладнання лише у вибухобезпечному виконанні.

Для транспортування ацетилену не можна використовувати мідні труби.

Балони з ацетиленом слід зберігати на ділянці, відокремленій від окисників, щоб уникнути прискорення реакції в разі пожежі/витоку. Балони з ацетиленом не варто зберігати в обмежених приміщеннях, закритих транспортних засобах і будівлях, щоб уникнути випадкових витоків, що призводять до вибухонебезпечної атмосфери.

9.6. Кисневі балони

Під час роботи з кисневими балонами варто пам'ятати, що **масло й жирові речовини** здатні займатися у струмені кисню, що може призвести до вибуху балона. Тому кисневий редуктор і інші деталі газової лінії не повинні мати навіть слідів жирових забруднень. Використання кисневих редукторів для відбору інертних газів усупереч поширеній практиці також неприпустимо. Річ у тому, що інертні гази стискаються поршневими компресорами, унаслідок чого в балони може потрапити масло. Використання кисневого редуктора не за призначенням може призвести до його забруднення. Якщо ж надалі він знову застосовуватиметься для відбору кисню, не можна виключити ймовірність вибуху.

Зі зниженням тиску газу в редукторі газ охолоджується. Якщо в газі міститься волога, то може відбутися замерзання каналів вентиля й редуктора. Під час замерзання вентиля кисневого балона обігрів слід проводити за допомогою чистої гарячої води або пари. Зазвичай вентиль відігрівають, обкладаючи верхню сферичну частину балона і самий вентиль тканиною, змоченою в гарячій воді. Водночас необхідно стежити, щоб тканина не містила слідів масла. *Не можна* відігрівати вентиль полум'ям пальника або розігрітим металом. На складі балонів і місцях

виконання робіт повинні бути вогнегасники і ящики з піском на випадок пожежі. При виникненні пожежі необхідно негайно видалити балони в безпечне місце (насамперед наповнені). **Категорично забороняється відігрівати замерзлі вентилі відкритим полум'ям.**

9.7. Правила роботи з балонами, що містять хлор і фосген

За звичайної температури й атмосферного тиску хлор являє собою газ зеленувато-жовтого кольору. Він майже в 2,5 рази важчий за повітря. Під час охолодження до $-33,7^{\circ}\text{C}$ хлор перетворюється за атмосферного тиску на рідину. При тиску 5–7 атм хлор зріджується за звичайної температури. Один кілограм рідкого хлору за нормальних умов під час випаровування перетворюється на 316 л газу (**1кг рідкого хлору $\rightarrow$ 316 л газу**). З огляду на те, що з підвищенням температури пружність насиченої пари хлору значно збільшується (див. табл. 9.4.), балони, призначені для його зберігання, повинні мати великий запас міцності.

Фосген за звичайних умов – газ, що не має забарвлення. Температура кипіння фосгену $+8,2^{\circ}\text{C}$, тому він легко зріджується. Газоподібний фосген у 3,5 рази важчий повітря. За 20°C один літр рідкого фосгену під час випаровування перетворюється на 325 л газу. Балони, призначені для зберігання фосгену, зважаючи на значне збільшення тиску з підвищенням температури повинні мати підвищену міцність.

Таблиця 9.4

Пружність насиченої пари хлору і фосгену, атм

Температура, $^{\circ}\text{C}$	0	20	40	60
Хлор	3,7	6,6	11,5	18,2
Фосген	0,72	1,55	2,47	5,2

Балони, у яких постачають хлор і фосген, пофарбовані в захисний, темно-зелений колір. На них є поперечні смуги – зеленого кольору для балонів із хлором і червоного – для балонів

із *фосгеном*. Балони із хлором і фосгеном зазвичай мають вентилялі, які оснащені сифонними трубками, що доходять майже до дна балона. Під час роботи ці балони розміщуються в перевернутому стані (вентилем вниз). Для цього їх зазвичай закріплюють у спеціальних стійках під витяжною шафою; у такому положенні потік газоподібного хлору або фосгену можна зручно регулювати. Якщо балон не перекинути, виходить дуже сильний потік хлору або фосгену, і вентиль дуже охолоджується, покривається товстим шаром інію і випаровування сповільнюється.

Хлор і фосген належать до сильнодіючих отруйних речовин, тому робота з ними повинна проводитися дуже обережно з необхідними заходами безпеки:

- Робота з хлором і фосгеном проводиться у спеціально обладнаних для такого виду робіт лабораторіях. Ці лабораторії повинні мати вентиляцію підвищеної потужності, що забезпечує не менше ніж *12-кратний обмін повітря* в годину.
- Лабораторія має забезпечуватися належним комплектом захисного одягу, респіраторів, протигазів, захисних окулярів і протипожежних засобів, а також мати в достатній кількості дегазуючі засоби.
- Під час роботи із хлором і фосгеном дозволяється користуватися лише спеціальними *сталевими редукторами*. Користування редукторами іншого типу неприпустимо.

Ознаками появи витоку хлору з балона крім специфічного запаху є:

- а) зниження температури балона,
- б) шипіння і поява бульбашок під час змочуванні підозрілого місця водою,
- в) посиніння йодокрахмального індикаторного папірця,
- г) витік можна виявити за допомогою ватки, змоченою водним розчином аміаку: у присутності хлору з'являється білий димок.

Із виявленням витоку в балоні із хлором його потрібно видалити. *Хлор*, що виділився, *поглинають* 20 %-м розчином *гіпосульфиту* або *соди*. Такий розчин повинен готуватися заздалегідь. Неприпустимо застосовувати для поглинання хлору

водний розчин аміаку, за такої умови може утворитися хлористий азот – сполука, що вибухає з великою силою.

Балони із хлором повинні розміщуватися на хімічних складах окремо від балонів з іншими газами. Для них необхідно влаштувати спеціальні стелажі або гнізда. Рекомендується зберігати балони у вертикальному положенні, вентилем догори. Під час прийому балона із хлором на хімічний склад треба звернути особливу увагу на справність оболонок балонів і вентилів. Ці балони не можна змішувати з раніше отриманими. Протягом перших двох діб необхідно спостерігати за їхнім станом на предмет наявності витоку хлору з балона.

Під час перенесення, перевезення й укладання балонів із хлором варто уникати ударів, не можна їх кидати, особливо ретельно треба обережати вентиля.

Після використання балона в ньому повинна визначатися повнота використання шляхом зважування порожнього балона. На повністю порожні балони під час відправки їх на завод-наповнювач оформляються документи, які вказують кількість хлору, що залишився в них.

Склади мають забезпечуватися вогнегасниками. Усі співробітники складу повинні мати протигazi. На складі бажано мати кисневу маску й обов'язково в достатній кількості дегазуючі засоби. Перш ніж увійти на склад, обов'язково потрібно перевірити, чи немає в повітрі приміщення хлору, використовуючи для цього індикатори.

Якщо виявлено витік хлору з балона, то він повинен бути припинений zalиванням водою негерметичних місць (у місці протікання вода замерзає, утворюючи лід), потім вживаються інші заходи безпеки.

Необхідно ретельно стежити за справним станом сполучних підводок (гумових, каучукових шлангів) від балона до установки або приладу. Під впливом хімічної активності хлору або фосгену ці шланги втрачають свою еластичність, тріскаються, ламаються й герметичність установки може порушуватися.

9.8. Причини вибуху балонів

Кисневі балони можуть вибухнути через такі випадки:

- 1) під час потрапляння в балон або на його штуцер мастила або жиру;
- 2) за наявності в кисневому балоні будь-якого пального газу (перед наповненням киснем балон використовувався під горючий газ);
- 3) за занадто великому відборі газу; за цих умов газ, проходячи з великою швидкістю через вентиль, може наелектризувати горловину балона й тоді можлива поява іскри. Особливо часто це явище спостерігається у процесі різки металу, коли балон ізольований від землі;
- 4) за тиску газу в балоні вище допустимого (тиск може підвищитися через нагрівання балона сонячними променями або іншим джерелом тепла);
- 5) при недоброякісності матеріалу, а саме: зменшення товщини стінок балона внаслідок корозії металу балона; під час транспортування в зимовий час може бути значне зниження пластичності сталі, і тоді при ударах по балону метал може зруйнуватися.
- 6) коли вентиль і горловина забруднені карбідом кальцію. Під час пропуску кисню під ковпаком утворюється вибухонебезпечна суміш кисню й ацетилену.

Ацетиленові балони можуть вибухнути через такі випадки:

- 1) за різких поштовхів і ударів, що призводять до руйнування металу балона або, зазвичай до осідання пористої маси з утворенням у ній пустот. Осідання маси, у свою чергу, сприяє збільшенню обсягу пологого простору у верхній частині балона. Якщо обсяг порожнього простору перевищуватиме $75\text{--}150\text{ см}^3$, то ацетилен, виділяючись у цей простір і перебуваючи в ньому під високим тиском, стає вибухонебезпечним;
- 2) за сильного нагрівання (понад $30\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$), яке зменшує розчинність ацетилену в ацетоні, унаслідок чого підвищується його тиск;
- 3) за нещільності з'єднання вентиля з редуктором, унаслідок чого ацетилен може виходити в атмосферу, створюючи небезпеку вибуху ацетиленово-повітряної суміші у приміщенні і, як наслідок, ацетиленового балона.

9.9. Конструкційні особливості балонів для стиснених газів, вентилі й редуктори для балонів

➤ Поняття балона

Балони – металеві ємності, призначенні для зберігання, перевезення та використання *стиснених* (азот, повітря, кисень, сірководень), *зріджених* (аміак, сірчистий ангідрид, бутан) чи *розчинених* (ацетилен) газів за тиску вище атмосферного й температури від -50 до $+60$ °С. Балони розрізняються за місткістю, конструктивними особливостями, розпізнавальним фарбуванням. Розрізняють балони малого, середнього та великого об'ємів – до 12 л, 12–55 л і більше 55 л, відповідно. Найпоширеніші балони місткістю 40 л. Балони, розраховані на робочий тиск 100–200 атм. Балони виготовляють зазвичай із безшовних труб, матеріалом яких є вуглецева та легрована сталь. Для зріджених газів – пропану й бутану допускається використання балонів зі зварними швами. На прикладі *кисневого* й *ацетиленового* балонів детальніше розглянемо будову газових балонів, вентилів і редукторів.

9.9.1. Кисневі балони

Балон (рис. 9.2) складається зі сталевого циліндричного корпусу 4, який має внизу опукле днище, а вгорі – сферичну частину з горловиною. На горловину насаджено *кільце* 3 із різьбленням, на кільце накручується *запобіжний ковпак* 1. Горловина має конічний отвір із різьбленням, у яке вкручується *запірний вентиль* 2. Для забезпечення стійкого вертикального положення балону, на нижню частину його корпусу насаджений *опорний башмак* 5 із квадратною основою. **Максимальний тиск кисню в балоні 150 атм.**

Найбільш поширені балони ємністю 40 л, які за тиску **150 атм**, згідно із законом Бойля – Маріотта $p_1V_1 = p_2V_2$, вміщують по $40 \times 150 = 6000$ л, або 6 м^3 кисню. Такі балони мають зовнішній діаметр корпусу 219 мм, товщину стінки 8 мм і довжину корпусу (висоту) 1390 мм; вага балона 67 кг.

Балони фарбуються у *блакитний* колір. Поперек балона чорною фарбою пишуть "Кисень" (див. дод. 9, табл. 9.2). Верхня сферична частина балона залишається непофарбованою. На цьому

ж місці вибивають позначення і клейма за подальших опосвідченнях балонів.

Щоп'ять років балони піддають опосвідченню, під час якого проводиться зовнішній і внутрішній огляди балонів, перевірка ємності, зважування та гідравлічне випробування на тиск 225 атм (у півтора рази перевищує робочий тиск). Балони, які пропрацювали 40 років, бракуються або за задовільного стану переводяться в інші категорії з меншим робочим тиском.

Властивості кисню наведено в дод. 9.

9.9.2. Ацетиленові балони

Ацетилен є термодинамічно нестабільним за нормальних умов. Розклад ацетилену може бути ініційованим теплом реакції, контактом із гарячим тілом, електростатичною іскрою, нагріванням, стисненням або ударною хвилею. Ацетилен здатен вибухати вже за тиску понад 2 атм за кімнатної температури або за температури близько 500 °С та атмосферному тиску. Вибуховість ацетилену сильно знижується під час розміщення його в капілярних каналах і розчинені в органічних розчинниках. Для безпечного зберігання газу під високим тиском ацетиленові балони (рис. 9.2б) заповнюють спеціальною пористою масою, що складається з деревного вугілля, пемзи, інфузорної землі та просочують її ацетоном, у якому ацетилен добре розчиняється. Перебуваючи в порах маси, розчинений в ацетоні ацетилен стає *вибухобезпечним*, і його можна зберігати в балоні під тиском до 25–30 атм. Властивості ацетилену наведено в дод. 9.

Ацетиленові балони виготовляються з безшовних труб із товщиною стінки 7–8 мм. Вага оболонки балона місткістю 40 л становить у середньому 65 кг, а вага зарядженого балона 82–85 кг. Номінальний тиск у балоні для ацетилену – 19 атм за температури 20 °С. Тиск в ацетиленовому балоні величина довідкова, тому що кількість газу визначається лише зважуванням.

За ємності 40 л ацетиленовий балон може містити близько 5000 л розчиненого в ацетоні ацетилену. Ацетон у балоні займає приблизно 35–40 % його об'єму. Якщо відкрити вентиль балона, то ацетилен виділяється з ацетону у вигляді газу, а ацетон залишається в балоні та використовується за наступних його

наповнень. Втрати ацетону складають 40–50 г на 1 м³ і відбуваються за рахунок винесення парів ацетону разом із газоподібним ацетиленом. Для зменшення втрат ацетону необхідно ацетиленові балони під час роботи тримати у вертикальному положенні.

Ацетиленові балони пофарбовані в білий колір і підписані "Ацетилен" червоними літерами.

Від ударів і поштовхів під час експлуатації ацетиленових балонів можливе деяке подрібнення й ущільнення пористої маси. Це призводить до утворення у верхній частині балона деякого простору без пористої маси та зайнятого ацетиленом під високим тиском, що є небезпечним під час ударів.

У процесі експлуатації балони випробовують через кожні п'ять років азотом. Водночас пориста маса не виймається, тому замість гідравлічного випробовування проводиться випробовування азотом під тиском 30 атм і огляду стану пористої маси через горловину балона. Балон опускають у воду, глибиною не менше ніж 1 м. Стан пористої маси в балонах для ацетилену повинен перевірятися заводом-наповнювачем не рідше ніж через 24 місяці.

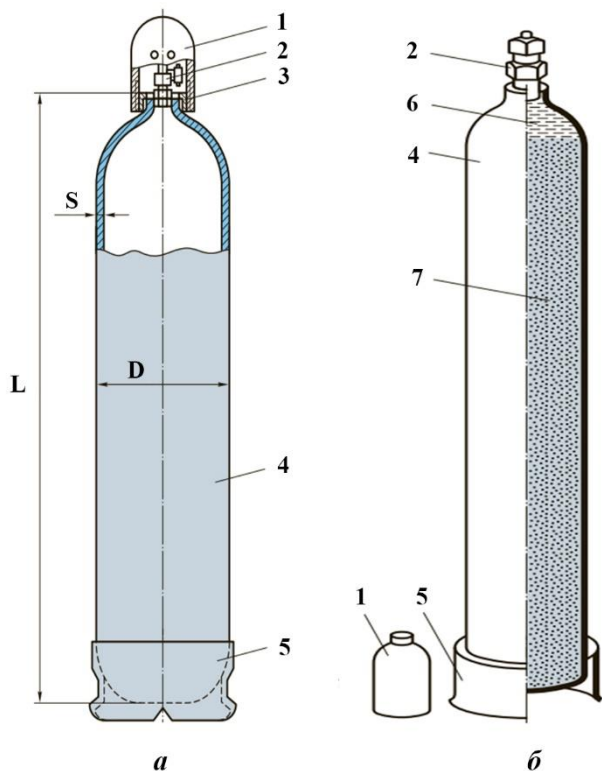


Рис. 9.2. Конструкція газових балонів: **а** – кисневого; **б** – ацетиленового; 1 – запобіжний ковпак; 2 – запірний вентиль; 3 – кільце; 4 – корпус; 5 – опорний башмак; 6 – газова подушка; 7 – пориста маса; L, D, S – довжина, діаметр і товщина стінки балона відповідно

➤ Вентиль балона

9.9.3. Вентиль кисневого балона

Вентилі для кисневих балонів виготовляють із латуні (рис. 9.3). Сталь для деталей вентиля, що контактує з киснем, застосовувати не можна, оскільки в середовищі стисненого кисню вона піддається сильній корозії, також сталь може горіти у струмені стисненого кисню. Латунь не горить у кисні, її застосування в кисневих вентилях безпечно. Також вентилі з

латуні використовують для балонів с воднем, азотом та іншими газами, що містяться в балонах під високим тиском. Маховики, заглушки й інші деталі вентилів виготовляють з алюмінієвих сплавів або пластмас. Корпус має бічний штуцер 9, до якого під час роботи приєднують редуктор. У неробочому стані на штуцер накручується заглушка 10.

Якщо клапан або сальник пропускають кисень – вентиль несправний. Балон із несправним вентилям варто віддати в ремонт. Розбирати вентиля на місці роботи **категорично забороняється**.

Зверніть увагу! Бокові штуцери вентилів балонів:

- ✓ що наповнюються **горючими газами**, мають **ліву різьбу**,
- ✓ що наповнюються **киснем** та іншими **негорючими газами** – **праву**.

9.9.4. Вентиль ацетиленового балона

Ацетиленові вентиля (рис. 9.4) виготовляють зі сталі, застосування якої у середовищі ацетилену безпечно. Вентилі для балонів із хлором, аміаком також виготовляють зі сталі. У ацетиленових вентилях **забороняється (!)** застосовувати мідь і сплави, що містять більше 70 % міді, оскільки з міддю ацетилен може утворювати вибухові сполуки – ацетиленід міді. Вентиль складається з корпусу 10, що має конусоподібне закінчення з різьбою, яким вентиль утвинчується в горловину балона.

Вентиль відкривають і закривають, обертаючи сталевий шпindel 5 спеціальним торцевим ключем, що одягають на верхній квадрат шпинделя. Під час обертання шпинделя проти годинникової стрілки він вивертається, і ацетилен виходить через отвір у сидлі у штуцері, до якого приєднаний редуктор за допомогою спеціального хомута, який оснащений притискним гвинтом (рис. 9.5.). На протилежній від штуцера грані корпусу зроблено конічне поглиблення для центрування гвинта хомута. Нижня частина шпинделя 5 має вставку з ебоніту і служить клапаном.

Різні конструкції кисневих і ацетиленових вентилів, як і різні забарвлення балонів, служать для попередження

помилкового наповнення ацетиленом кисневого балона або навпаки.

Помилка представляє велику небезпеку, оскільки може призвести до вибуху балонів!

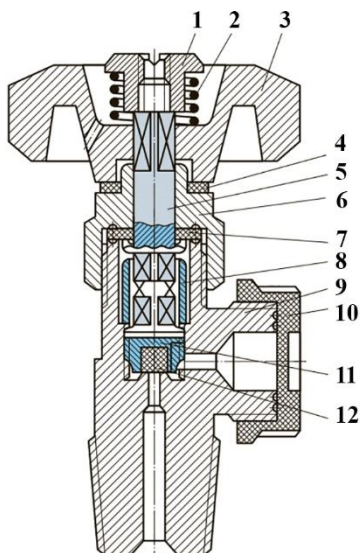


Рис. 9.3. Конструкція кисневого балонного вентиля:

- 1 – гайка;
- 2 – пружина;
- 3 – маховик;
- 4, 7 – капронові прокладки;
- 5 – шпindelь;
- 6 – накидна гайка;
- 8 – муфта;
- 9 – штуцер;
- 10 – заглушка;
- 11 – корпус клапана;
- 12 – ущільнювач

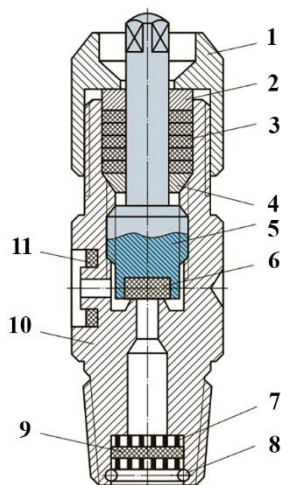


Рис. 9.4. Конструкція ацетиленового балонного вентиля:

- 1 – гайка сальника;
- 2 – шайба;
- 3 – сальникові прокладки;
- 4 – сальникове кільце;
- 5 – шпindelь;
- 6 – ебонітовий ущільнювач;
- 7 – фільтр;
- 8 – дротове кільце;
- 9 – повстяна прокладка;
- 10 – корпус;
- 11 – прокладка штуцера

➤ Редуктор балона

9.9.5. Класифікація газових редукторів

Газові редуктори потрібні для зниження (редукування) тиску газу в балонах або трубопроводах, до величини робочого тиску і для автоматичної підтримки його постійним.

Усі редуктори можна класифікувати за такими ознаками:

- за типом газу,
- за зовнішнім виглядом;
- за принципом дії;
- за способом приєднання редуктора до балона;
- за пропускною спроможністю;
- за величиною робочого тиску;
- за кількістю ступеней редукування.

✓ **За типом газу** редуктори поділяють на *кисневі, ацетиленові, пропан-бутанові й метанові*. Корпуси редукторів фарбують у той самий колір, що й балони (див. дод. 9, табл. 9.2): кисневий – у блакитний, ацетиленовий – у білий, пропановий – у червоний, водневий – у зелений (захисний).

Основна відмінність між ними полягає в способі приєднання до *вентиля*. **Кисневий редуктор** приєднується до вентиля за допомогою накидної гайки з *правою* різьбою. Спеціальним хомутом приєднується **ацетиленовий редуктор**.

Редуктори для *горючих газів* (метан, водень) мають *ліву* різьбу, щоб запобігти випадковому приєднанню редуктора, що працював із горючими газами, до кисневого балона. Балони з **інертними газами** (гелій, азот, аргон) мають *праву* різьбу, як і балони з киснем. Отже, для інертних газів можуть використовуватися кисневі редуктори.



Рис. 9.5. Кисневий редуктор
БКО-50-5



Рис. 9.6. Ацетиленовий редуктор
БАО-5-2

✓ **За кількістю ступенів редукування.** За схемою редукування використовують *одноступеневі* (однокамерні) і *двоступеневі* (двокамерні) редуктори. У двоступеневих редукторах тиск газу знижується послідовно в два етапи, що забезпечує практично постійний тиск газу на виході, однак вони складніші за конструкцією, ніж одноступеневі, і значно дорожчі.

✓ **За принципом дії.** Існують редуктори *зворотної* і *прямої* дії. У редукторах прямої дії газ, що надходить із балона прагне відкрити *клапан* за допомогою свого тиску, тим самим допомагаючи дії *натискної пружини*. У редукторах зворотної дії, газ, що надходить із балона, навпаки, прагне закрити *клапан*, тим самим допомагаючи дії *зворотної пружини*.

У першому випадку робочий тиск у міру витрати газу з балона дещо знижується; редуктор має *падаючу* характеристику. У другому випадку характеристика є *зростаючою*: зі зменшенням тиску газу в балоні, робочий тиск на виході з редуктора підвищується. Більш зручними й безпечними в експлуатації є редуктори *зворотної* дії.

Зниження тиску стисненого газу забезпечується шляхом його *дроселювання* через *редукуючий клапан*. *Дроселювання газу* – процес зниження тиску в потоці газу під час його проходження

через дросель (діафрагму, клапан, кран, вентиль, звужений канал), що супроводжується зміною температури.

Для підтримки тиску газу в робочій камері на постійному рівні служить гнучка *мембрана*, на один бік якої діє тиск цього газу (робочий тиск), а на інший – зусилля головної *натискної пружини* або установчий тиск (у редукторах із безпружинним регулюванням робочого тиску). Зі зміною тиску газу в робочій камері редуктора, *мембрана* деформується, збільшуючи або зменшуючи площу прохідного перерізу клапана, що також призводить до зменшення або збільшення ступеня дроселювання газу. Зі зменшенням прохідного перерізу клапана витрата газу зменшується, а ступінь дроселювання зростає, зі збільшенням перерізу – навпаки.

Розглянемо принцип дії на прикладі *одноступеневого балонного редуктора зворотної дії* (рис. 9.76).

Стиснений газ із балона надходить у *камеру високого тиску 6* і перешкоджає відкриттю *редукуючого клапана 7*. Відкриттю клапана перешкоджає не лише тиск газу в камері високого тиску, а й *зворотна пружина 5*, що має меншу силу, ніж *натискна пружина 11*. Для подачі газу необхідно обертати за годинниковою стрілкою *регульовальний гвинт 12*. Гвинт стискає головну *натискну пружину 11*, яка далі вигинає гнучку гумову *мембрану 1* вгору. Водночас *передаточний диск зі шпинделем 2* стискає *зворотну пружину 5*, піднімаючи *клапан 7*, який відкриває отвір для проходу газу в *камеру низького тиску 10*. Автоматична підтримка робочого тиску на заданому рівні відбувається так.

Під час роботи відбувається відбір газу з камери низького тиску. Якщо цей відбір дорівнює надходженню газу з *камери 6* у *камеру 10*, то робочий тиск залишиться постійним і *мембрана* перебуватиме в установленому положенні.

Якщо відбір газу зменшиться, то тиск у камері низького тиску підвищиться, *натискна пружина 11* стиснеться і *мембрана 1* виправиться, а *передаточний диск зі шпинделем 2* опуститься і *редукуючий клапан 7* під дією *зворотної пружини 5* прикриє сидло клапана, зменшивши подачу газу в камеру низького тиску.

Якщо ж відбір газу з редуктора збільшиться, то тиск у робочій камері знизиться, мембрана, зустрівши менший опір газу, під дією натискної пружини відкриє клапан, і надходження газу в камеру **10** збільшиться.

Тиск у камері високого тиску **6** вимірюється манометром **4**, а в камері низького тиску **10** – манометром **9**. Якщо тиск у робочій камері підвищиться понад норму, то за допомогою запобіжного клапана **8** відбувається скидання газу в атмосферу.

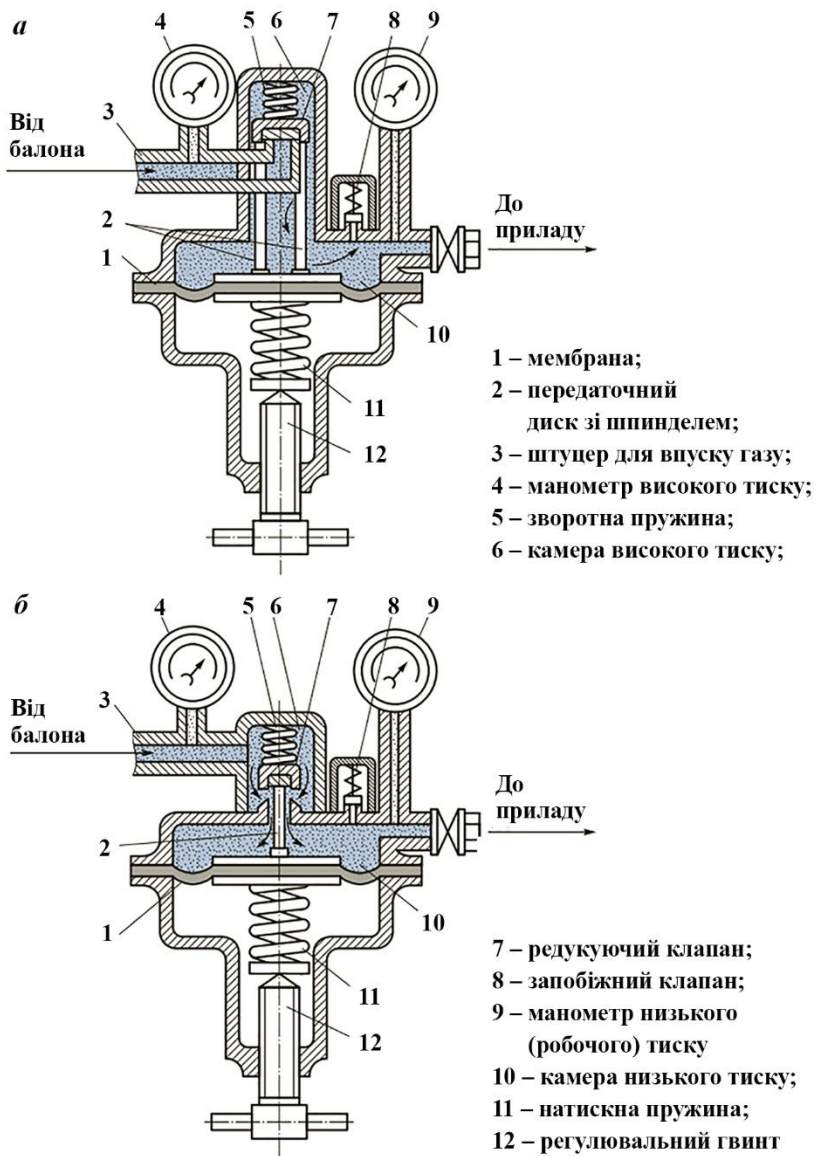


Рис. 9.7. Конструкції одноступеневих редукторів:
 а – прямої дії; б – зворотної дії

Термін служби редукторів становить від 4,5 до 7,5 років. Випускають 17 типів редукторів, але найбільш поширеними є 10 типів.

Марки редукторів позначаються буквами й цифрами. Букви містять таку інформацію:

- ✓ *за призначенням і місцем установки* – балонний (Б), мережевий (С), рамповий (Р);
- ✓ *за типом газу* – ацетиленовий (А), водневий (В), кисневий (К), метановий (М), пропан-бутановий (П);
- ✓ *за кількістю ступенів редукування та способу завдання робочого тиску* – одноступеневий із пружинним завданням тиску (О), двоступеневий із пружинним заданням тиску (Д), одноступеневий із пневматичним заданням тиску (З).

Цифри вказують найбільшу пропускну здатність редукторів у кубічних метрах на годину. Кожному типу редуктора відповідає одна або кілька марок.

Після закінчення робочого дня редуктор знімається з балона.

➤ **Несправності в роботі редукторів**

У роботі редукторів можуть бути **неполадки** – *самотік, замерзання, вигорання клапана, засмічення* й багато інших несправностей окремих частин редуктора, які необхідно усувати.

• **Явище самотоку** в редукторі полягає в тому, що за повністю звільненій натискній пружині, коли клапан повинен щільно притискатися до сідла, газ продовжує надходити в робочу камеру, оскільки герметичність між клапаном і сідлом порушена.

Самотік за відсутності відбору газу може привести до надмірного підвищення тиску в робочій камері і за несправного запобіжного клапана – до зриву або розриву шланга. Крім того, щоразу під час установки редуктора необхідно перевіряти, чи немає довільного зростання тиску в робочій камері за стисненої натискної пружини. Під час виявлення таких дефектів редуктор необхідно відправити в ремонт.

• **Замерзання редуктора.** Під час переходу газу з камери високого тиску в робочу камеру відбувається його розширення і падіння тиску, що супроводжується різким зниженням температури. Чим більший перепад тиску й кількість відібраного

через редуктор газу, тим більше знижується температура в робочій камері. Унаслідок зниження температури в редукторі пари води, що містяться в газі, конденсуються й замерзають. Утворені шматочки льоду закупорюють канали редуктора. Замерзання редуктора найчастіше спостерігається під час роботи в холодну пору року. У цих випадках закривають вентиль балона, відігрівують редуктор гарячою водою та продувають його для видалення вологи. ***Категорично забороняється відігрівати редуктор відкритим вогнем.***

- ***Вигорання клапана.*** Швидке відкривання запірного вентиля на балоні викликає різке стиснення та підвищення температури газу в камері високого тиску редуктора. Унаслідок цього може статися вигорання ебонітового ущільнення або навіть розплавлення корпусу редуктора. Для усунення небезпеки вигорання клапана, у редукторі ставлять теплопоглиначі у вигляді мідних сіток або шайб з отворами. Запірний вентиль на балоні відкривають дуже повільно і плавно. ***У процесі швидкого й різкого відкривання кисневого вентиля може статися займання (!).***

- ***Засмічення фільтра редуктора.*** Іноді доступ газу в редуктор ускладнюється через засмічення фільтра редуктора. Фільтр необхідно регулярно прочищати від бруду та промивати. Несправний фільтр повинен замінюватися новим.

- ***Несправності окремих частин редуктора.*** До несправностей окремих частин редуктора належать: поломка або усадка натискної пружини, прогин сталеві шпильки передавального шпинделя, поломка манометрів тощо. Несправність натискної пружини або передавального шпинделя визначається за незначним підвищенням робочого тиску під час повного закрочування до відмови регулювального гвинта.

➤ **Перевірка манометрів редуктора**

Найбільш часто поломок зазнають манометри. Перевірку манометрів проводять щороку. На тильному боці корпусу манометра ставлять клеймо із зазначенням кварталу й року виконаної перевірки. Не можна користуватися редукторами, що мають будь-які неполадки. Усі несправні деталі підлягають

заміні. Манометри редуктора повинні бути справними та перевіреними. Ремонт редукторів і манометрів здійснюють спеціалізовані майстерні або лабораторії підприємств, що мають спеціальне обладнання, навчених і атестованих фахівців і дозвіл на проведення ремонтних робіт. Редуктори підлягають щоквартальній перевірці.

9.9.6. Особливості маркування балонів із газом

Для запобігання помилкового наповнення балонів іншими газами передбачено розпізнавальне фарбування та маркування балонів (див. дод. 9, рис. 9.8 і табл. 9.2).

На корпусі нанесені відомості про балон (маса корпусу, дата виробництва, дати атестацій, які проводять щоп'ять років та інше), що дозволяють зробити висновок про придатність балона до подальшої експлуатації. Написи вибиті безпосередньо на корпусі балона біля горловини. Іноді (особливо у старих балонів) частково закриті шарами фарби, за якими їх не видно. Нижче наведені найбільш типові записи й подається їхнє розшифрування (рис. 9.8).

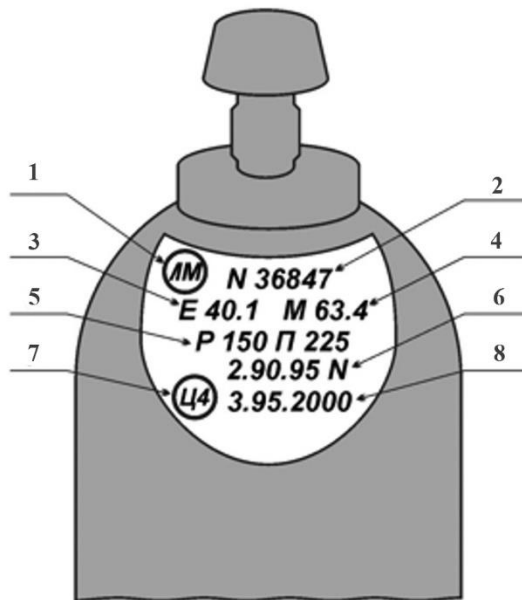


Рис. 9.8. Маркування балонів

1. Лише для ацетиленових балонів. Символи "ЛМ" або "ПМ" – тип наповнювача балонів (ЛМ – лита маса, ПМ – пориста маса). Запис "ПМ" не завжди відповідає дійсності, тому що трапляється, що завод замінив наповнювач, не зробивши про це позначки на корпусі.

2. Заводський номер балона.

3. Фактична місткість балона по воді під час виготовлення в літрах. Із перевищенням мірної місткості балона над заводською більше ніж на 1,5 % – балон до подальшої експлуатації не допускається (порушення геометрії корпусу, ризик утворення мікротріщин).

4. Фактична маса корпусу балона під час виготовлення. Зі зменшенням маси корпусу щодо номінальної більш ніж на 7.5 % балон до подальшої експлуатації не допускається (зменшення маси, корозія та потоншення стінки).

5. Робочий ("Р") і перевірочний ("П") тиск балона в атмосферах.

6. Дата виготовлення й подальшої переатестації у форматі "ММ.РР.АААА", де "ММ" – номер місяця виготовлення, "РР" – дві останні цифри року виготовлення, "АААА" – рік подальшої переатестації (або "АА" – дві останні цифри року наступної переатестації). Літера "N" – клеймо заводу, що свідчить про те, що запис стосується відомостей про виготовлення балона.

7. Буквено-цифровий шифр, обведений у коло – клеймо заводу або лабораторії, де проводилась переатестація.

8. Відомості про подальшу переатестацію балона у форматі "ММ.РР.АААА", де "ММ" – номер місяця переатестації, "РР" – дві останні цифри року переатестації, "АААА" – рік подальшої переатестації (або "АА" – дві останні цифри року наступної переатестації).

Якщо балон проходив кілька переатестацій, то відомості про них, зазвичай вибиваються один під одним або, що рідше, до існуючого записи додається рік подальшої переатестації у форматі ".АА" і цей запис засвідчується клеймом. Водночас напис буває таким, наприклад, вид: "R 1.92.97.02 R", що варто читати так: балон переатестовувався в січні 1992 р. і, згодом, у січні 1997 р. знову пройшов переатестацію, яка буде дійсною до січня 2002 р. (символ "R" зображує тут клеймо ділянки переатестації).

Написи наведені на балоні рис. 9.8 читаємо так:

– балон № 36847 виготовлений у лютому 1990 р. Маса корпусу 63.4 кг, місткість 40.1 л. Проведено гідравлічні випробування корпусу на 225 атм, дозволений номінальний (робочий) тиск 150 атм. У березні 1995 р. балон пройшов чергову переатестацію на ділянці "Ц4", дата подальшої переатестації – березень 2000 р.

Маркування балонів залежить від газів, що в них зберігаються. Вони маркуються *трьома параметрами* – це *колір самого балона, колір надпису на балоні* (назва газу, що в ньому міститься) і *колір лінії під цим надписом* (застосовують не для всіх видів газів).

Фарбування та маркування балонів із газами не має єдиного міжнародного стандарту й тому для різних країн різні. У табл. 9.2 (див. дод. 9) наведені кольори розпізнавального фарбування балонів вітчизняного виробництва для зберігання і транспортування газів. Наприклад, балон з *азотом* має бути *чорного* кольору, надпис "Азот" – *жовтого*, а лінія під ним – *коричневого*; балон із *киснем* має бути *блакитного* кольору, надпис "Кисень" – *чорного* кольору без лінії під ним. *Горючі гази* мають бути в балоні *червоного* кольору з *білим* надписом, а *негорючі* – у *чорному* балоні з *жовтим* надписом. Інші види газів, їхні властивості й маркування наведені в табл. 9.2 (див. дод. 9).

Водночас, у *Європейському союзі* забарвлення балонів із газом визначається стандартом EN 1089-3. [ДСТУ EN 1089-1-2001. Балони газові переносні. Ідентифікація газових балонів (крім скрапленого нафтового (попутного газу). Частина 1. Маркування (EN 1089-1:1996, IDT)]. (див. дод. 9, табл. 9.2). Відповідно до стандарту EN 1089-3, газові балони маркуються на плечі балона (верхня частина корпусу), водночас *колір маркера* залежить від *небезпеки*, яку має газ у балоні. Отже, для маркування газових балонів застосовуються такі кольори: *жовтий* RAL 1018 – отруйний і / або корозійний; *червоний* RAL 3000 – легкозаймистий; *блакитний* RAL 5012 – окисник; *світло-зелений* RAL 6018 – інертний, задушливий (RAL – європейський стандарт кольорів).

Однак поряд із таким маркуванням газів стандарт передбачає і фіксоване маркування, яке застосовується до ряду широкоживаних газів: *кисень* – білий RAL 9010, *азот* – чорний RAL 9010, *закис азоту* – темно-синій RAL 5010, *гелію* – коричневий RAL 8008. Також для чистого *кисню*, який використовується для дихання (аквалангістами), або з медичною метою (реанімація), використовуються балони, пофарбовані в *зелений* колір RAL 6035. Водночас усі складові, які безпосередньо використовуються з цими балонами (редуктори, легеневі автомати), повинні мати частини, пофарбовані в *зелений* колір, щоб уникнути використання на кисневих балонах частин, не призначених для цього (див. дод. 9, табл. 9.2).

Розділ 10. Особливості роботи з органічними розчинниками

10.1. Легкозаймисті сполуки та горючі рідини

Експериментальна робота у практикумі, особливо органічному, пов'язана з ризиком одержання опіків термічного чи хімічного характеру (див. перша допомога при опіках, розд. 3.2, 3.3).

Термічні опіки найчастіше є наслідком необережної роботи з легкозаймистими або нагрітими до високої температури речовинами або предметами. Крім того, одержання опіку внаслідок загоряння легкозаймистої речовини, може виявитись не єдиною проблемою – супутнім фактором може бути отруєння цією речовиною та виникнення пожежі з усіма негативними наслідками. Отже, перед виконанням лабораторних робіт варто проаналізувати найбільш розповсюджені легкозаймисті речовини, методи роботи з ними та профілактичні заходи, що дозволять запобігти займанню таких сполук.

Дані про найбільш вживані легкозаймисті сполуки наведені в табл. 10.1.

Легкозаймисті рідини (ЛЗР) характеризують двома основними фізичними константами: *температурою спалаху* та *температурою самозаймання*.

Температура спалаху (Flash point) – найменша температура горючої речовини, за якої над її поверхнею утворюються пари або гази, здатні спалахувати в повітрі від зовнішнього джерела займання (і далі запалювати саму речовину).

До легкозаймистих рідин (ЛЗР) належать речовини з *температурою спалаху* нижче 61 °C (у закритому тиглі) або 66 °C (у відкритому тиглі), до *горючих (ГР) рідин* – із вищою.

Температура займання – найнижча температура речовини, за якої над її поверхнею утворюється пара або гази з такою швидкістю, що після їхнього запалювання виникає стійке горіння.

Температура самозаймання – найменша температура, до якої має нагріватися суміш парів речовини із повітрям, щоб за відсутності зовнішнього джерела займання відбулось самозаймання.

Самозаймання речовин, зазвичай може відбуватися під час їхнього потрапляння на дуже нагріті предмети: електроплитки, азбестові сітки, електролампи й ін.

Речовини, які мають температуру спалаху нижче кімнатної, категорично заборонено випарювати з фарфорових чашок або стаканів на водяній бані, що обігривається не лише газовим пальником, а й навіть, електроплиткою із закритою спіраллю.

Газовий пальник також не може використовуватися у процесі відгонки легкозаймистої рідини з колби Вюрца або Кляйзена з низхідним холодильником.

Перегонку таких легкозаймистих сполук, як діетиловий етер, сірковуглець, петролейний ефір (див. табл. 10.1) проводять під час нагрівання лампою з рефлектором або електроплиткою із закритою спіраллю, або ж водяною банею (нагрівають на віддалі від місця перегонки). Варто контролювати, щоб поблизу не було запалених газових пальників. Таких самих заходів безпеки треба дотримуватись під час відгонки легкозаймистих розчинників на роторному випаровувачі (з водоструминним насосом), оскільки частина парів розчинника, що відганяється, захоплюється водою насоса та виділяється з раковин.

Не залишайте посуд із легкозаймистими речовинами відкритим (незалежно від кількості речовини) і біля нагрівальних приладів чи запалених газових пальників!

Категорично заборонено виливати легкозаймисті рідини в раковини, відра, урни для сміття!

Неможна нагрівати розчини органічних речовин у легкозаймистих розчинниках, наприклад, під час проведення перекристалізації, у відкритому посуді, без зворотного холодильника з водяним або хоча б з повітряним охолодженням.

Екстракцію легкозаймистими рідинами (наприклад, діетиловий і петролейний ефір, гексан, бензол) не можна проводити поблизу працюючих газових пальників, оскільки під час струшування воронки та подальшого відкриття крана виділяються пари розчинника, які можуть спалахнути.

Також поблизу відкритого посуду із ЛЗР заборонено підключати електроприлади до клем, що перебувають під струмом: пожежа може виникнути від електричної іскри.

Категорично заборонено куріння в лабораторії – це може призвести як до отруєння курця, так і до виникнення пожежі.

Особливо обережними варто бути під час проведення реакцій з металоорганічними сполуками – треба ретельно перевірити правильність збирання реакційного приладу, якість реактивів і розчинників, а також чітко дотримуватися процедури синтезу. Наприклад, під час одержання реактивів Грін'єра (магнієорганічних сполук), якщо використовують недостатньо абсолютований ефір, алкілгалогенід, забруднений домішками вихідного спирту, забруднені ошурки магнію, то реакція може розпочинатись зі значною затримкою (індукційним періодом). Це часто призводить до того, що експериментатор починає додавати занадто швидко та більше, ніж треба алкілгалогенід, іноді починає перегрівати реакційну суміш і, коли реакція врешті розпочинається, то за недостатнього охолодження реактора, відбувається викид ефірного розчину з колби через будь-які отвори – зазвичай, це холодильник, горло колби або затвор. Водночас пожежа й навіть вибух можуть спричинюватися як потраплянням суміші чи парів етеру на нагріті елементи, газові пальники, так і іскрами електромотора, що використовується для перемішування реакційної суміші.

Найбільш небезпечними є сполуки, що здатні самозайматись під час контактування з повітрям без додаткового нагрівання, наприклад, білий фосфор, деякі літіє- та цинкоорганічні сполуки, тонкі порошки деяких металів, що використовують як каталізatori (залізо, нікель, платина, паладій). Особливо небезпечними є випадки самозаймання сполук поблизу інших легкозаймистих рідин або газів.

Небезпечним є контакт органічних речовин з окисниками. Ураховуючи цей факт, варто бути обережним під час використання як реагентів та осушувачів безводних перманганатів, перхлоратів, хлоратів і нітратів. Також варто пам'ятати, що тирса, стружки, вата, папір і ганчір'я можуть самозайматися під час потрапляння на них концентрованих азотної, сірчаної, хлорної кислот і деяких інших окисників.

Таблиця 10.1

Характеристики найбільш вживаних легкозаймистих сполук

<i>Розчинник</i>	<i>Mr</i>	<i>T_{кип.}</i> (°C)	<i>T_{пл.}</i> (°C)	<i>ρ</i> (г/мл)	<i>Розчинність</i> <i>у H₂O</i> (г/100г)	<i>ε</i> (за 20 °C)	<i>F_p</i> (°C)
ацетон	58.08	56.2	−94.3	0.786	змішується	20.7 (25 °C)	−18
ацетонітрил	41.05	81.6	−46	0.786	змішується	37.5	6
бензен	78.11	80.1	5.5	0.879	0.18	2.28	−11
бутан-1-ол	74.12	117.6	−89.5	0.81	6.3	17.8	35
бутан-2-ол	74.12	98	−115	0.808	15	15.8 (25 °C)	26
бутан-2-он	72.11	79.6	−86.3	0.805	25.6	18.5	−7
<i>трет</i> -бутанол	74.12	82.2	25.5	0.786	змішується	12.5	11
гексан	86.18	69	−95	0.659	0.014	1.89	−22
гептан	100.20	98	−90.6	0.684	0.01	1.92	−4
1,2-дихлоретан	98.96	83.5	−35.3	1.245	0.861	10.42	13
діетиловий етер	74.12	34.6	−116.3	0.713	7.5	4.34	−45

<i>Продовження табл.</i>							
діоксан	88.11	101.1	11.8	1.033	змішується	2.21 (25 °C)	12
Диметилформамід (ДМФА, DMF)	73.09	153	−61	0.944	змішується	36.7	58
етанол	46.07	78.5	−114.1	0.789	змішується	24.6	13
етилацетат	88.11	77	−83.6	0.895	8.7	6 (25 °C)	−4
о-ксилен	106.17	144	−25.2	0.897	нерозчинний	2.57	32
м-ксилен	106.17	139.1	−47.8	0.868	нерозчинний	2.37	27
п-ксилен	106.17	138.4	13.3	0.861	нерозчинний	2.27	27
метанол	32.04	64.6	−98	0.791	змішується	32.6 (25 °C)	12
метиленхлорид	84.93	39.8	−96.7	1.326	1.32	9.08	1.6
метил-трет- бутиловий етер (МТБЕ)	88.15	55.2	−109	0.741	5.1	2.6	−28
нітрометан	61.04	101.2	−29	1.382	9.50	35.9	35
оцтова кислота	60.05	118	16.6	1.049	змішується	6.15	39
пентан	72.15	36.1	−129.7	0.626	0.04	1.84	−49

Закінчення табл.							
петролейний ефір (лігроїн)	–	30–60	–40	0.656	–	–	–30
піридин	79.10	115.2	–41.6	0.982	змішується	12.3 (25 °C)	17
пропан-1-ол	88.15	97	–126	0.803	змішується	20.1 (25 °C)	15
пропан-2-ол	88.15	82.4	–88.5	0.785	змішується	18.3 (25 °C)	12
тетрагідрофуран (ТГФ, THF)	72.11	66	–108.4	0.886	30	7.6	–21
тетрахлорметан*	153.82	76.7	–22.4	1.594	0.08	2.24	– *
толуен	92.14	110.6	–93	0.867	0.05	2.38 (25 °C)	4
триетиламін	101.19	88.9	–114.7	0.728	0.02	2.4	–11
хлорбензен	112.56	131.7	–45.6	1.106	0.05	2.71	29
хлороформ**	119.38	61.7	–63.7	1.498	0.795	4.81	– **
циклогексан	84.16	80.7	6.6	0.779	<0.1	2.02	–20

M_r – молярна маса

$T_{\text{кип.}}$ – температура кипіння

$T_{\text{пл.}}$ – температура плавлення

ρ – густина

ε – діелектрична проникність

F_p (flash point) – температура спалаху

*тетрахлорметан – не горюча речовина, її можна використовувати для гасіння пожежі, але широкому застосуванню заважає токсичність сполуки

**хлороформ – не належить до легкозаймистих сполук

Варто мати на увазі, що всі легкозаймисті рідини (ЛЗР) і горючі рідини (ГР) є токсичними речовинами; багато з них за кімнатної температури утворюють пероксиди, із повітрям утворюють пожежо-вибухонебезпечні суміші; вони легко спалахують, швидко горять і їх важко загасити.

Розряди небезпеки ЛЗР.

Умовно за температурою спалаху ЛЗР поділяють на три розряди небезпеки:

І розряд небезпеки – особливо небезпечні ЛЗР із температурою спалаху до -18°C (у закритому тиглі) і до -13°C (у відкритому тиглі): акролеїн, алілхлорид, ацеталь, ацетальдегід, ацетон, бензини, гексан, диметилдихлорсилан, дипропіловий етер, діетиламін, ізопропілхлорид, метилаль (диметоксиметан), метилметакрилат, метилформіат, пропіленоксид, петролейний ефір, пропілхлорид, сірковуглець, тетрагідрофуран, фуран, циклогексан, циклогексен, етиламін, етилформіат, діетиловий етер та ін.

II розряд небезпеки – постійно небезпечні ЛЗР із температурою спалаху від -18°C до 23°C (у закритому тиглі) та -13°C – 27°C (-13 – 27°C) (у відкритому тиглі): акрилонітрил, алілбромід, аліламін, амілхлорид, ацетонітрил, бензол, бутиламін, *трет*-бутиловий спирт, бутилхлорид, вінілацетат, гексаметилдисилоксан, гептан, дибутиловий етер, діоксан, дихлоретан, діетилхлорсилан, діетилкетон, ізопропілацетат, ізопропанол, ізопропілформіат, ізопропілкарбонат, лігроїн, метилацетат, метанол, метилтрихлорсилан, метилхлорформіат, метилетилкетон, піперидин, піридин, толуол, триетиламін, циклогексиламін, етилакрилат, етилацетат, етилбензол, етиленімін (азіридин), етанол та ін.

III розряд небезпеки – ЛЗР, небезпечні за підвищеної температури з температурою спалаху від 23°C до 61°C (у закритому тиглі) і 27 – 66°C (у відкритому тиглі): амілацетат, амілбромід, амілформіат, анізол, ацетилацетон, бензилхлорид, бромбензол, бутанол, гексилхлорид, декан, діаміловий етер, дикетен, диметиламіноетанол, диметилсульфат, *N,N*-діетиламіноетанол, діетилкарбонат, ізоамілацетат, гас, ксилол, метилакрилат, морфолін, мурашина кислота, октиламін,

пентанол, пропілбензол, пропанол, скипидар, стирол, уайт-спірит, оцтова кислота, оцтовий ангідрид, хлорбензол, циклогексанон та ін.

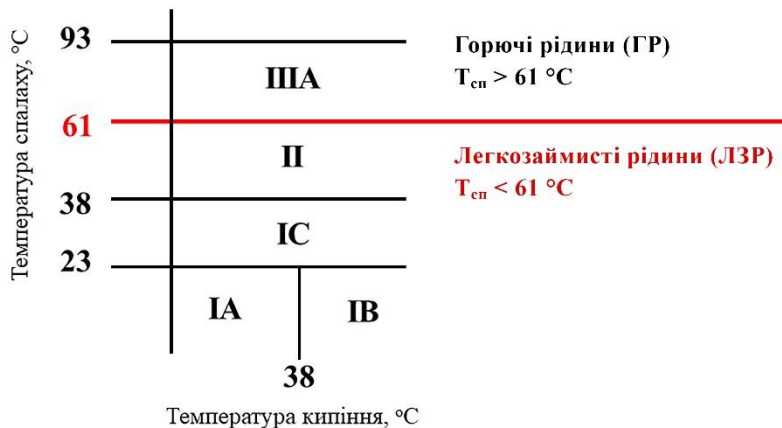
У різних країнах використовується різна класифікація ЛЗР, які зараз намагаються уніфікувати до єдиного міжнародного стандарту. Проте досить часто паралельно використовують різні класифікації.

У таблиці наведено порівняння класифікації **OSHA** (*Occupational Safety and Health Administration*) – управління з охорони праці при Міністерстві праці США) і її оновлені стандарти згідно із **GHS** (УГС). УГС – це Узгоджена на глобальному рівні система класифікації та маркування хімічних речовин (УГС) (англ. *GHS, The Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals*) – міжнародно узгоджений стандарт, керований Організацією Об'єднаних Націй:

	<73.4°F (23 °C)	<100 °F (37.8 °C)	<140 °F (60 °C)	<199.4 °F (93 °C)	>199.4 °F (93 °C)
Стандарт <i>OSHA</i> (старий)	Легкозаймистий (Flammable)		Горючий (Combustible)		
Класи	IA, IB	IC	II	IIIА	IIIВ
Новий GHS	Легкозаймистий (Flammable)				
Категорії	1, 2	3		4	

Більш наочна класифікація наведена на схемі:

Легкозаймисті та горючі рідини



Важливо пам'ятати:

- ✓ Ємності з ЛЗР і ГР мають зберігатись у лабораторії у сейфі або спеціальному металевому ящику з кришкою, що щільно закривається. Кількості мають відповідати добовим нормам зберігання.
- ✓ У лабораторії заборонено зберігати речовин із температурою кипіння нижче 50 °C (пентан, діетиловий ефір, сірковуглець). По завершенню робочого дня такі розчинники мають бути винесені у спеціальне холодне приміщення.
- ✓ Загальний запас ЛЗР і ГР має розраховуватися для кожного приміщення, із розрахунку, щоб утворена у випадку аварії вибухонебезпечна суміш горючих газів і парів рідин не перевищувала 5 % об'єму повітря у приміщенні.
- ✓ Усі роботи із ЛЗР і ГР слід проводити у витяжній шафі з верхнім і нижнім відсмоктувачами.
- ✓ Перед початком роботи варто перевірити справність: засобів індивідуального захисту (протигаз, респіратор),

захисний щиток, рукавички, засоби пожежогасіння; перевірити герметичність обладнання та приладів.

- ✓ Перед початком роботи із ЛЗР проінформувати про це працюючих у цьому приміщенні для запобігання випадкового використання полум'я або електрики на небезпечній відстані від ЛЗР.
- ✓ Нагрівання ЛЗР і ГР можна проводити лише у приладах, що забезпечують ефективну конденсацію утворених парів. Варто уважно контролювати роботу холодильника.
- ✓ Нагрівання та перегонку ЛЗР і ГР проводять на банях, заповнених відповідним теплоносієм. Для нагрівання ЛЗР І розряду слід використовувати попередньо нагріті в іншому місці рідинні бані.
- ✓ Розчинення речовин для перекристалізації з ЛЗР і ГР проводять у колбі зі зворотним холодильником.
- ✓ Гаряче фільтрування насиченого розчину в органічному розчиннику слід проводити в замкнутому устаткуванні для гарячого фільтрування із занурювальною зворотною воронкою.
- ✓ Спецодяг, забруднений ЛЗР, ГР, окисниками, слід негайно змінити, аби уникнути займання.
- ✓ Ємності, у яких зберігались ЛЗР і ГР і проводились роботи з ними, після завершення роботи потрібно негайно промити.
- ✓ Після тривалого зберігання органічні розчинники обов'язково перевіряють на присутність пероксидів; під час виявлення пероксидів їх варто видалити за допомогою різноманітних адсорбентів. Для попередження утворення пероксисполук в етери додають інгібітор окиснення.
- ✓ На тарі з етерами на етикетках обов'язково зазначається дата випуску або дата останньої очистки.
- ✓ Під час проведення реакцій з етерами для охолодження "пасток" застосовують сухий лід із негорючими хлорованими вуглеводнями.

Заборонено:

- ✓ зберігати ЛЗР і ГР:

- у поліетиленовому або тонкостінному посуді;
 - у витяжній шафі, де проводяться роботи з пальниками й іншими нагрівальними приладами;
 - поряд з окисниками (хлоратами, нітратами, азотною (нітратною) кислотою, бромом, пероксидом водню, перманганатами й ін.);
 - близько від горючих предметів.
- ✓ виливати відходи ЛЗР і ГР у каналізацію, їх слід збирати у спеціальну герметично закриту тару, яку в кінці робочого дня виносять із лабораторії для регенерації або знищення.
 - ✓ внесення "кипілок" та активованого вугілля в нагріті ЛЗР і ГР;
 - ✓ висушування на повітрі та у сушильній шафі великих кількостей речовин після перекристалізації з органічних розчинників. Цю процедуру варто проводити в ексикаторі або вакуумній сушильній шафі аби запобігти утворенню пожежо-вибухонебезпечних концентрацій парів ЛЗР;
 - ✓ упарювання органічних розчинників у відкритих ємностях; упарювання проводять під вакуумом з обов'язковою конденсацією парів у приладі для перегонки речовин або на ротаторному випарювачі;
 - ✓ упарювання досуха під час перегонки органічних розчинників (слід залишати не менш 10 % об'єму рідини);
 - ✓ застосовувати для охолодження "пасток" для конденсації низькокиплячих естерів рідкий азот, оскільки при цьому в посуді, що охолоджується, може конденсуватися кисень із повітря.

10.2. Правила роботи з пероксисполуками та розчинниками, що містять пероксиди

Загальні вимоги безпеки

Органічні пероксиди – сполуки, до складу яких входить фрагмент —C—O—O— . Розрізняють: *гідропероксиди* (—C—O—O—H), *пероксиди* (—C—O—O—C—), *пероксокислоти* ($\text{—COO}_2\text{H}$), і їхні естери, *ацилпероксиди* (RCOOOCOR).

Органічні пероксиди зазвичай тверді або рідкі речовини, більш менш вибухонебезпечні за звичайної температури. Їхню активність оцінюють за періодом напіврозпаду, тобто за часом, упродовж якого за цієї температури відбувається розклад половини взятої кількості пероксиду з утворенням вільних радикалів.

Органічні пероксиди вражають ЦНС, мають місцеву дію на шкіру, слизові оболонки очей і дихальних шляхів.

У лабораторії дозволено зберігати запас пероксосполук, що не перевищує денну норму використання. Ці сполуки варто зберігати у спеціальних металевих ящиках за температури значно нижчої температури їхнього розкладу. Нестабільні пероксиди зберігають за зниженої температури, зокрема пероксид метилетилкетону за температури $<10^{\circ}\text{C}$, пероксид ацетилену – $\leq 5^{\circ}\text{C}$.

Під час транспортування та зберігання враховувати, що більшість сполук цього типу чутлива до ударів, поштовхів, струсів і тертя.

Для зберігання *рідких* пероксидів і *гідропероксидів* використовують ємності з поліетилену чи темного скла. *Тверді* пероксиди, чутливі до механічного впливу, зберігають у контейнерах-коробках, вкритих зсередини поліетиленом або парафіном. Неможна використовувати кришки, що нагвинчуються й коркові пробки.

Зберігання 30 %-х розчинів пероксиду водню пов'язано з небезпекою активного розкладу (вибуху), тож не слід зберігати в лабораторії великі кількості таких розчинів. Розчини пероксиду водню дозволено зберігати лише в посуді зі спеціального скла, захищеними від світла, оскільки світло може ініціювати його розклад із вибухом.

Варто *уникати* контакту пероксиду водню, органічних пероксидів і гідропероксидів навіть зі слідами важких металів, які є активними каталізаторами розкладу пероксидів.

Під час контактування з киснем повітря за кімнатної температури пероксиди можуть утворитись у сполуках, що містять такі функціональні групи:

Функціональна група	Сполуки
	Ацеталі, ефіри, гетероциклічні сполуки
	Похідні декагідронафталіну; сполуки, що містять ізопропільну групу
	Алільні сполуки
	Галогеналкени (X=галоген)
	Інші вінільні сполуки, зокрема терпени, тетрагідронафталін, акрилати, метакрилати, вінілові ефіри.
	Дієни
	Вінілацетилени
	Похідні тетрагідронафталіна, стиролу
	Альдегіди
	Похідні сечовини, N-алкіламіди, лактами

Альдегіди й аміни дуже легко утворюють пероксиди, але вони швидко розкладаються і їхня концентрація не сягає небезпечного рівня. Високу схильність до утворення пероксидів мають такі сполуки, як діізопропіловий етер, дивінілацетилен, вініліденхлорид. У діізопропіловому етері наявність пероксидів під час контакту з повітрям фіксують вже через декілька годин після абсолютування та перегонки, у тетрагідрофурані – за три дні зберігання, а в діетиловому етері – за вісім днів. За здатністю реагувати з киснем повітря подібно до тетрагідрофурану та діетилового етеру поводять себе й такі сполуки: діоксан, ацеталь, диметиловий етер етиленгліколя (глім), вінілові етери, дициклопентадієн, діацетилен, метилацетилен, декагідронафталін (тетралін), циклогексан, диметиловий етер діетиленгліколя (диглім).

До продажних розчинників і реактивів, схильних до утворення пероксидів, додають антиоксиданти для запобігання утворення й накопичення пероксидів під час зберігання в закритих пляшках упродовж гарантійного терміну. Проте після тривалого зберігання розчинника обов'язково треба зробити перевірку на наявність пероксидів. Варто пам'ятати, що антиоксиданти лише збільшують індукційний період до початку окиснення.

Утворення пероксидів різко уповільнюється або повністю припиняється під час контакту розчинника з мідною сіткою. Наявність води у ефірі уповільнює, але повністю не запобігає утворенню пероксидів. Абсолютний діетиловий ефір зазвичай окиснюється значно швидше, ніж ефір, що містить декілька десятих часток води.

Під час зберігання ефірів й інших розчинників, що окиснюються, на складах (навіть в упаковці виробника) варто стежити за цілісністю упаковки. За необхідності тривалого зберігання доцільно додатково запарафінувати ємність із розчинником. Також слід враховувати, що парафін і поліетилен, хоча і не значною мірою, але все ж таки проникні для кисню. Унаслідок дифузії кисню через поліетиленові пробки за декілька років зберігання, навіть у щільно закритих ємностях, може накопичитись значна кількість пероксидів.

Під час наливання розчинника з ємності, у неї потрапляє значна кількість повітря, унаслідок чого процес утворення пероксидів різко прискорюється. Отже, після багатократного відкривання ємності розчинник збагачується підвищеною кількістю пероксидів. Тож розчинники, схильні до утворення пероксидів, неприпустимо тримати в бутлях великого об'єму – 10 або 20 л. Найбільше відповідають вимогам техніки безпеки бутлі місткістю до 1 л. Наприклад, для діетилового етеру максимально безпечною є упаковка у ємності 100 мл.

Не варто залишати в бутлі невелику кількість летких ефірів. Ємність після розчинника, схильного до окиснення треба ополоснути водою. Ураховуючи що, нагрівання й освітлення прискорюють процеси окиснення, пероксидуотворюючі розчинники варто зберігати в бутлях із темного скла та, за можливості, на холоді.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед перегонкою ефіру або іншого розчинника, здатного окиснюватись, в обов'язковому порядку (!) варто переконатись у відсутності в них пероксидів. Також проведення тесту на наявність пероксидів є обов'язковим перед використанням розчинника для екстракції й іншої мети, якщо в подальшому передбачається його упарювання та в разі роботи із сполуками, здатними вступати в реакції за радикальним механізмом.

Експрес-методи виявлення пероксидів у рідинах

- ✓ У 50 мл 18 %-го HCl розчиняють 9 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, додають 100-200 мг порошку Zn і 5 г NaNCS . Після зникнення червоного забарвлення додають ще 12 г NaNCS та декантують розчин із Zn , що не прореагував, у щільно закриту ємність. Далі до 1 мл реагенту у пробірці із безбарвного скла додають 1 краплину досліджуваного розчинника. Поява *червоного* забарвлення вказує на *наявність пероксидів*. Межа чутливості методу – 0.001 % пероксиду.
- ✓ У закритій пробірці струшують упродовж 1 хв 10 мл ефіру та 1 мл свіжоприготованого 10 %-го розчину KI . Під час розгляду на тлі білого екрану не має бути видно забарвлення. Поява *жовтого* забарвлення ефірного шару вказує на

наявність пероксидів. Межа чутливості методу – 0.005 % пероксиду.

- ✓ У 1 мл льодяної НОАс розчиняють приблизно 100 мг NaI або KI. До розчину додають 1 мл досліджуваної рідини. За інтенсивністю забарвлення – від жовтої до коричневої – приблизно оцінюють кількість пероксидів. За відсутності пероксидів забарвлення не з'являється.
- ✓ У 100 мл дистильованої води розчиняють 50 мг $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$ і додають 1 мл концентрованої H_2SO_4 . Потім 5 мл досліджуваної рідини струшують з 2–3 мл приготованого розчину. Поява *жовтого* забарвлення вказує на *присутність пероксидів*.
- ✓ До 1 мл води, що містить 1 мг $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ та 1 краплину розведеної H_2SO_4 , додають 2–3 мл досліджуваної рідини. За *наявності пероксидів* органічний шар набуває *блакитного забарвлення* (іон перхромату).

Метод придатний для визначення пероксидів у *рідинах, нерозчинних у воді*.

Методи видалення пероксидів

- ✓ *Адсорбція оксидом алюмінію.* Продажний оксид алюмінію для хроматографії 1-го та 2-го ступеня активності придатний для використання без додаткового прожарювання. Якщо оксид алюмінію необхідно активувати, його прожарюють упродовж 6 год за 300–400 °С.

Для видалення пероксидів розчинник витримують впродовж доби над оксидом алюмінію. Якщо цю процедуру проводити у процесі перемішування, час обробки можна скоротити до 1–1.5 год. Ще швидше можна позбутись від пероксидів, пропускаючи розчинник через скляну колонку, заповнену оксидом алюмінію.

Оксид алюмінію не руйнує, а лише адсорбує пероксиди, тому відразу після обробки розчинника слід, не припускаючи висихання адсорбента, залити його 5 %-м розчином FeSO_4 . Можна елюювати адсорбований пероксид гарячою водою або метанолом.

Після обробки потрібно переконатись у відсутності пероксиду в розчиннику, повторивши один із зазначених вище тестів.

Метод придатний для вилучення пероксидів із будь-яких розчинників, зокрема таких, що змішуються з водою, наприклад, діоксану. Одночасно відбувається осушка й очистка розчинників, особливо від домішок кислотного характеру.

- ✓ *Обробка іоннообмінною смолою.* Це простий і надійний метод видалення пероксидів з ефірів та інших розчинників високої чистоти без перегонки та втрати розчинника. Наприклад, в експерименті за допомогою колонки діаметром 10 мм, що містила 4 г аніонообмінної смоли Dowex-1, повністю видалили пероксид із дволітрового бутля з діетиловим етером, попередньо відкритої впродовж 3 місяців.
 - ✓ *Обробка солями металів.* Якщо сухий ефір, що містить певну кількість пероксидів, необхідно перегнати, то в перегонну колбу додають або купрум хлорид (I) Cu_2Cl_2 або станум хлорид (II) SnCl_2 у кількості 5 г на 1 л ефіру.
 - ✓ *Екстракція концентрованим розчином лугу.* Таким методом можуть екстрагуватися пероксиди з ефірів нерозчинних або малорозчинних у воді. Під час перемішування впродовж 30 хв 1 об.ч. 23 %-го NaOH з 10 об.ч. діетилового етеру пероксиди повністю гідролізують. Проте треба зважати на те, що деякі пероксиди, наприклад, ди-*трет*-бутилпероксид, стійкі до гідролізу.
- Примітка.* Обробка гранульованим лугом у твердому стані, зазвичай не приводить до видалення пероксиду навіть під час кип'ятіння розчинника. Поширена думка, що в розчиннику, який зберігається над гранульованим лугом, пероксиди не утворюються є помилковою.
- ✓ *Обробка водними розчинами неорганічних відновників.* Цей метод дозволяє швидко видалити пероксиди з ефірів, що не змішуються з водою. Найрозповсюдженішими є розчини

ферум сульфату (II), натрій метабісульфіту $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, натрій сульфід. Ферум сульфат (II) використовують у вигляді 30 %-го розчину у кількості 10–15 мл на 1 л ефіру. Перокси повністю видаляються під час струшування ефіру з розчином відновника в ділильній воронці впродовж 3–5 хв.

Вимоги безпеки під час роботи

- ✓ Усі види робіт із концентрованим перексидом водню, неорганічними й органічними пероксидами потрібно проводити з використанням захисних екранів.
- ✓ Заборонено працювати із забрудненими пероксидами, їх слід вилучити з використання та знищити.
- ✓ Під час проведення синтезу пероксидів і їхніх ефірів необхідно забезпечити ефективне охолодження реакційної суміші, оскільки всі ці процеси відбуваються з виділенням великої кількості тепла (екзотермічні).
- ✓ Не припустимим є контакт слідів вологи і пірофорних матеріалів із пероксосополюками.
- ✓ Для уникнення вибуху пероксосополюк заборонено відганяти ефіри досуха – у колбі обов'язково має залишатись певна кількість речовини. Крім того, зазвичай *пероксосополюки менш леткі*, ніж етер і в процесі перегонки їхня *концентрація* у перегонній колбі поступово *зростає*.
- ✓ Зберігати сполюки, схильні до утворення пероксидів, слід в інертному середовищі за відсутності світла. Особливу увагу приділяти зберіганню абсолютованих і перегнаних розчинників. Якщо із якихось причин додавання до очищеного розчинника антиоксиданту неприпустимо, то краще проводити перегонку безпосередньо перед використанням розчинника. У випадках, коли очищений розчинник усе ж доводиться зберігати впродовж відносно тривалого часу, слід запобігати його контакту з киснем повітря під час зберігання та у процесі відбору частини розчинника з ємності. Надійний захист від окиснення досягається зберіганням у ємностях із притертою пробкою, змазаною відповідною змазкою, в атмосфері інертного газу. Після кожного відбору розчинника ємність обов'язково знову продувають інертним газом.

- ✓ За необхідності багатократного відбору невеликих порцій абсолютowanego розчинника рекомендується зберігати його у посудині Шленка в атмосфері сухого азоту або аргону. Аби запобігти переливанню розчинника на повітрі, перегонку проводять безпосередньо у посудину Шленка, із якої потім витісняють повітря інертним газом. Під час відбору розчинника необхідну кількість видавлюють через бічний градуйований відвід током інертного газу.
- ✓ У зв'язку з нестабільністю пероксосполук не слід збовтувати ємності з ними, оскільки процес розкладу, що почався, миттєво наростає та призводить до вибуху.

Вимоги безпеки після закінчення робіт з пероксидами

- ✓ Після закінчення роботи з пероксосполуками слід ретельно прибрати робоче місце й очистити використаний посуд.
- ✓ Розлитий рідкий пероксид слід швидко засипати піском, проте ганчірки й інші матеріали для видалення слідів перекису заборонено використовувати.
- ✓ Більшість органічних пероксосполук знищують, змішуючи в рівних пропорціях із 10–20 % розчином натрій гідроксиду. Знищення проводять у вогнетривкому посуді на відкритому повітрі, після відстоювання впродовж доби, суміш розводять великою кількістю води та зливають.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

- ✓ *Загоряння* пероксидів гасять *піском* і за допомогою *вуглекислотних вогнегасників*.
- ✓ Під час потрапляння пероксосполук на *шкіру*, їх негайно видаляють тампоном, змоченим у спирті, далі уражену ділянку промити великою кількістю води з милом, намастити вазеліном.
- ✓ Під час потрапляння в *очі* – негайно промивати великою кількістю води, 2 %-м розчином харчової соди. Далі – закапати в очі 0.5 %-й розчин цинк сульфату, 30 % альбуміду.
- ✓ При *інгаляційному* отруєнні – спокій, свіже повітря.
- ✓ У всіх випадках ураження пероксосполуками – звертатися до лікаря.

10.3. Вибухонебезпека закритих ємностей із горючими рідинами в зоні пожежі

Найпоширенішими рідинами, які використовуються в лабораторіях, є легкозаймисті розчинники. Більшість цих розчинників мають досить високий тиск насиченої пари і, як наслідок, утворюють легкозаймисті випари. Якщо ці розчинники використовувати на відкритому лабораторному столі, пари можуть скупчуватися, "подорожувати" поверхнею, і врешті-решт знайти джерело займання, наприклад відкрите полум'я або електричну іскру. Імовірність займання такої легкозаймистої пари є високою, унаслідок чого відбувається спалах.

Робота у витяжній шафі й уникнення джерел займання є важливими запобіжними заходами для уникнення пожеж у лабораторії, спричинених ЛЗР.

Якщо не вжити цих запобіжних заходів, може виникнути не лише *пожежа*, а й *вибух*. Ви всі бачили вибухи на відео у фільмах або новинах, але чи знаєте ви, що відбувається насправді й чому стався вибух?

Вибух – це надзвичайно швидке виділення енергії у вигляді тепла і світла. Якщо легкозаймисті випари збираються всередині приміщення, обладнання чи будівлі, а концентрація розміщується між *нижньою* (НКМ, англ. LEL) і *верхньою* (ВКМ, англ. UEL) *концентраційними межами* поширення полум'я, потрібна лише іскра, щоб підпалити цю хмару парів. За умови, що швидкість вивільнення енергії перевищує здатність довкілля розсіювати цю енергію через конвекцію та теплоємність, утворюється ударна хвиля з надзвуковою швидкістю – *вибух*. Така ударна хвиля є хвилею газу під високим тиском, що може завдати значної шкоди. Вибухи з більшою ймовірністю відбуваються поблизу стехіометричної точки реагуючих речовин і менш імовірні, коли співвідношення реагентів міститься поза концентраційними межами поширення полум'я.

У наведеному нижче обговоренні описуватимуться вибухи, спричинені пожежами.

Існує ще один вид вибуху, який може статися в лабораторіях та деінде, і він ілюструє багато хімічних і фізичних принципів.

*Вибух пари, що розширюється, від рідини, що закипає (BLEVE, від англ. – **B**oiling **L**iquid **E**xpanding **V**apor **E**xplosion), відбувається під час руйнування посудини, що містить рідину під тиском, яка перебуває за температури вищої, ніж її точка кипіння при атмосферному тиску. Оскільки точка кипіння рідини підвищується з тиском, вміст посудини під тиском може залишатися рідким, доки посудина неушкоджена. Багато речовин, які зазвичай зберігаються у вигляді рідин, наприклад CO₂, пропан та інші подібні промислові гази, мають температуру кипіння значно нижчу за кімнатну за атмосферного тиску. У випадку з водою BLEVE може виникнути, якщо герметична ємність із водою під тиском нагрівається значно вище 100 °C.*

Вибух BLEVE відбувається за такою схемою (рис. 10.1). Під час порушення цілісності ємності газова фаза починає виходити в атмосферу, що спричинює різке падіння тиску всередині та зниження значення точки кипіння рідини. Унаслідок чого, рідина переходить у перегрітий стан, відбувається об'ємне закипання рідини, виділяється велика кількість газу, який швидко розширюється. Тиск газу різко зростає, породжуючи ударні хвилі. Під дією кипіння та потоку газу з посудини також виносяться часточки рідини, створюючи аерозольну хмару. Надалі відбувається її перемішування з повітрям. Якщо речовина є горючою, може статися її загоряння з утворенням вогняної кулі, у певних умовах можливий також об'ємний вибух.

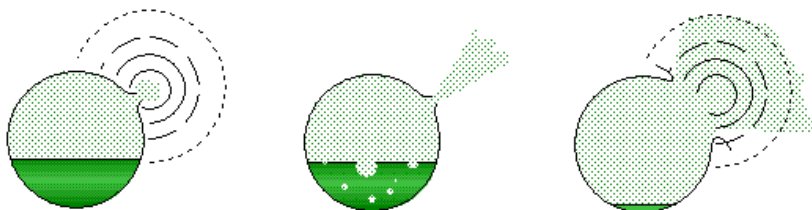


Рис. 10.1. *Схема вибуху: 1 – падіння тиску через руйнування стінки; 2 – швидке закипання та підвищення тиску; 3 – руйнування посудини й утворення хмари газу*

Розглянемо BLEVE на декількох прикладах

Легкозаймисті рідини зберігаються в ємностях різного розміру. Це можуть бути пляшки, каністри або бочки. Зазвичай

вони закриті або закупорені. Якщо будь-яка з цих ємностей потрапляє у вогонь, тиск пари всередині контейнера почне зростати із двох причин. По-перше, ми знаємо, що $PV = nRT$ (рівняння стану ідеального газу, *Клапейрона – Менделєєва*). Тиск у закритій ємності становитиме приблизно 1 атм або дещо вище, якщо рідина трохи випарувалася після того, як ємність була герметично закрита. Якщо температура підвищиться орієнтовно від 300 К (26,85 °С) до 1300 К (1026,85 °С) – типова температура пожежі, тиск зросте до 4,3 атм. Тільки це вже може призвести до розриву ємності.

По-друге, рівняння Клаузіуса – Клапейрона показує нелінійну залежність між тиском насиченої пари й температурою. Із підвищенням температури тиск насиченої пари зростає експоненційно. Оскільки більше молекул переходить у газову фазу, кількість молей (n) збільшується, і це призводить до підвищення тиску вище значення в 4,3 атм. Для будь-якої ємності існує певний тиск, за якого вона зазнає руйнування й розриву. Коли це станеться, утвориться велика хмара легкозаймистої пари.

Якщо ця легкозаймиста хмара пари знаходить джерело займання, наприклад під час пожежі, а концентрація пари міститься між НКМ і ВКМ, тоді хмара, що швидко розширюється, спалахне, імовірно, вибухово. Цей процес, призведе до випаровування решти рідини, яка згодом також загориться. Також можливо, що навіть без джерела запалювання хмара пари може вибухнути, якщо температура буде *вище температури самозаймання*, хоча для більшості рідин температура самозаймання досить висока.

Інший сценарій для BLEVE менш імовірний у лабораторії, але частіше трапляється вдома чи на виробництві.

Розглянемо балон зі зрідженим газом (СГ), який використовується в побуті. Зріджений газ зазвичай складається щонайменше на 90 % із пропану, решта – бутан і пропілен. У наповненому балоні міститься (за об'ємом) приблизно 80 % рідини та 20 % насиченої пари над поверхнею рідини. За температури доквілля 21 °С тиск насиченої пари в резервуарі становить приблизно 8,4 атм. Температура кипіння пропану

становить $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 1 атм. Такі балони мають запобіжні клапани, встановлені в інтервалі 25–32 атм. Циліндрична конструкція балонів розрахована витримувати тиск не менше 65 атм. Розглянемо, що станеться, якщо такий балон потрапить у вогонь?

Як і в лабораторному сценарії, тиск усередині резервуара зростатиме, коли зростатиме температура балону, що перебуває у вогні. Однак, коли тиск у балоні досягає 25–32 атм, відкривається запобіжний клапан і газ випускається. Струмінь газу, швидше за все, спалахне, оскільки під час пожежі можливе займання, і газ, що виходить, утворює факел. Оскільки рідина всередині резервуара має достатньо хорошу теплоємність, температура резервуара швидко не підвищується, і тиск у резервуарі не перевищуватиме тиск у запобіжному клапані. Ці два фактори затримують розрив балона. Однак у міру згоряння газу рівень рідини в контейнері врешті-решт знижується, і більша площа поверхні резервуара піддається впливу вогню та температур без можливості ефективно поглинати тепло рідиною, що всередині. Шар газу над рідиною знижує тепловідведення від стінки та сприяє її більшому нагріванню. У якийсь момент цілісність резервуара порушиться, і відбудеться BLEVE.

Балони із пропаном, розташовані у приватних будинках, можуть мати десятки літрів зрідженого газу, а залізничні цистерни – десятки кубометрів. BLEVE від залізничних цистерн призводить до значних уражень: уламки розлітаються на відстань більше кілометра від місця вибуху, утворюються вогняні кулі в кілька сотень метрів діаметром.

Термін BLEVE найчастіше використовується для опису результатів розриву ємностей із *легкозаймистою рідиною* внаслідок пожежі, але, варто зазначити, що BLEVE може виникнути навіть з *негорючою речовиною*, такою як вода, рідкий азот, рідкий гелій чи інших холодоагентів або кріогенів, і тому зазвичай не вважається типом хімічного вибуху. Зауважте, що у випадку зріджених газів, BLEVE також можуть бути небезпечними через швидке охолодження внаслідок інтенсивного випаровування (наприклад, обмороження). Також можлива асфіксія внаслідок утворення великого об'єму газу, який

швидко не розсіюється (наприклад, усередині будівлі або в підвалі у випадку газів, важчих за повітря) або через токсичність утворених газів.

Давайте проаналізуємо варіант виникнення BLEVE з найбільш поширеною і, на перший погляд, найбезпечнішою негорючою речовиною – водою. Наприклад, маємо закриту каністру з водою в рідкому стані. Із підвищенням температури навколо такої ємності до 204,4 °С, тиск усередині може перевищувати атмосферний (1 атм) на 1,7 МПа (16,8 атм).

Припустимо, що резервуар розгерметизувався: тоді на певну мить ми б мали об'єм рідкої води, який міститься за атмосферного тиску за температури 204,4 °С. Проте за атмосферного тиску температура кипіння води становить 100 °С, тож вона має перейти в газоподібний стан. Отже, у цей момент відбудеться бурхливе скипання і вибухове перетворення рідкої фази на пару. Це перетворення супроводжується надзвичайно швидким збільшенням об'єму (порівняно зі стартовою рідкою фазою) у ≈ 1600 разів (!), що спричиняє вибух пари.

Такі вибухи можуть статися, коли перегріта вода з котла виходить через щілину у його конструкції, яка викликає вибух котла.

Отже, підбиваючи підсумки цього розділу, ще раз нагадаємо, що під час підготовки до роботи з легкозаймистими реагентами варто оцінювати параметри небезпеки (RAMP – Recognize, Assess, Minimize, Prepare, РОМБ).

Ураховуючи очевидну небезпеку легкозаймистих хімікатів, є сенс за можливості обмежити їхнє використання. Під час роботи з легкозаймистими хімікатами використовуйте концепцію алгоритму безпеки RAMP (РОМБ):

Розпізнайте відповідну небезпеку займистості, пов'язану з наявністю ємностей із легкозаймистими рідинами.

Оцініть рівень ризику за цих обставин, розглянувши шляхи, якими пара може утворитися та вийти за межі ємності, а також визначити, чи є будь-які джерела займання.

Мінімізуйте ризик, за можливості використовуючи менш горючий розчинник і працюйте у вентильованому приміщенні, щоб обмежити концентрацію пари й усунути джерела загоряння.

Будьте готові до надзвичайних ситуацій, знаючи розташування та правила використання відповідного вогнегасника.

Розділ 11. Техніка безпеки під час роботи з лужними металами

Лужні метали широко застосовуються в лабораторіях як реагенти для синтезу й аналізу, активні відновники, а також осушувачі для органічних розчинників. Основне практичне значення має натрій, його використовують в синтезах органічних сполук і частково для отримання деяких натрієвих похідних. У ядерній техніці він використовується як теплоносіє. Проведені успішні досліді зі створення натрієвого електрокабеля (з поліетиленовою ізоляцією) для високих напруг. Металічний калій також застосовують у металотермії та органічних синтезах, зокрема активний евтектичний сплав K–Na (77 % K за масою), що за кімнатної температури перебуває у рідкому стані ($T_{\text{пл}} - 12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Із калію отримують KO_2 , що використовується в на підводних човнах і космічних кораблях для поглинання CO_2 та регенерації кисню. Літій застосовують у термоядерній техніці, у гумовій промисловості він використовується для виробництва штучного каучуку як каталізатор полімеризації, у металургії – як цінний компонент до інших металів і сплавів. Наприклад, додавання сотих часток відсотка літію підвищує твердість алюмінію і його сплавів, а додавання 0,4 % літію до свинцю майже втричі підвищує його твердість. Додавання цезію до магнію покращує механічні властивості магнію й захищає його від корозії, проте таке його використання малоймовірне через високу вартість цезію.

У безкисневому середовищі літій і його аналоги – це сріблясто-білі (за винятком жовтуватого цезію) речовини із сильним металевим блиском. Усі лужні метали характеризуються малою густиною та твердістю, низькими температурами плавлення.

Літій, калій та натрій легші за воду, а літій навіть легший за гас. Лужні метали можна легко розрізати ножем, а твердість цезію – не перевищує твердості воску. Лужні метали та їхні леткі сполуки забарвлюють полум'я газового пальника у характерні кольори, із яких найбільш інтенсивний яскраво-жовтий, властивий натрію. Літій і його аналоги є надзвичайно

реакційноздатними металами (активність у ряду від Li до Cs зростає). Підприємства, де виробляють або застосовують лужні метали належать до категорії А вибухо- та пожежної безпеки.

Лужні метали схожі за своїми фізико-хімічними властивостями. Для більш конкретної оцінки факторів небезпек ми розглянемо особливості роботи в лабораторії із кожним представником лужних металів, проте більш детально зупинимось на натрії як найбільш вживаному у лабораторній практиці.

11.1. Правила роботи із натрієм

Натрій (густина $0,97 \text{ г/см}^3$, температура плавлення $97,7^\circ\text{C}$) Надзвичайно, активно реагує із киснем, воднем, сіркою, фосфором, галогенами, органічними сполуками, інертний до азоту. Нагрітий на повітрі натрій легко спалахує, бурхливо взаємодіє із водою, теплоти реакції достатньо для займання водню, що утворюється внаслідок реакції. Хоча у процесі розчинення невеликих шматочків натрію в у холодній воді займання зазвичай не відбувається. Особливо небезпечний контакт натрію із водою у закритому об'ємі, наприклад, у колбі, коли різко збільшується концентрація водню, що виділився. У цьому випадку неминучий вибух повітряно-водневої суміші. Під час контакту натрію із льодом відбувається вибух. На повітрі свіжі зрізи натрію миттєво вкриваються рихлою плівкою продуктів окиснення. Зважаючи на це, натрій у лабораторіях зберігають зазвичай під шаром зневодненого трансформаторного мастила або гасу у скляних банках із товстостінного скла, що закриваються корковою або пластмасовою кришкою, що закручується, але в жодному разі не притертою пробкою. Банку наповнюють гасом так, щоб над металічним натрієм був шар гасу не менше, ніж 10–15 мм. Із метою безпеки скляна банка із металічним натрієм повинна знаходитися у металевій тарі з піском. Зберігання натрію без такої тари забороняється. На банку в металевому кожусі роблять смужки-наклейки червоного й зеленого кольорів. Проте варто мати на увазі, що у процесі пакування натрію у банку може потрапити вологе повітря й утворити вибухову суміш. Тому розкривати натрій у такій

фабричній тарі слід дуже обережно, уникаючи ударів молотком або іншими предметами.

Для роботи металевий натрій потрібно виймати пінцетом з-під захисного шару гасу маленькими порціями, залишки гасу необхідно промокнути сухим фільтрувальним папером, гострим ножем видалити оксидні плівки, відрізати необхідну кількість металу і відразу ж використовувати його за призначенням або протягом необхідного невеликого проміжку часу зберігати під шаром сухого ксилолу або мінерального масла. Пінцет повинен бути сухим! Оксидні плівки з поверхні великих шматків натрію й інших лужних металів рекомендується видаляти гострим ножем під шаром ксилолу або мінерального масла, попередньо висушених над натрієвим дротом. Операцію зручно проводити у порцеляновій ступці. Очищені шматки металу переносять пінцетом у стакан або колбу із висушеним ксилолом. Обрізки металу й залишки натрію варто знищувати відразу, на вологому повітрі вони через деякий час можуть спалахнути.

Категорично забороняється викидати залишки металевого натрію та фільтрувальний папір, на якому різали натрій, у відро для сміття й раковину, або залишати їх у порожніх пробірках і колбах. Їх слід знищувати шляхом повного розчинення в етиловому спирті. Проте варто пам'ятати, що, хоча присутність води у спирті значно прискорює реакцію, взаємодія натрію з етиловим спиртом, що містить більше 5 % води, небезпечна. Після розчинення обрізків натрію в етанолі, папір слід промити водою та викинути, а спиртовий розчин злити у склянку для відходів. Необхідно стежити за повнотою розчинення натрію під час обробки етиловим спиртом шлаків після проведення реакцій, особливо реакції Вюрца. Так, надлишок натрію після цієї реакції не завжди вдається повністю знищити спиртом, оскільки шматочки натрію бувають вкриті шаром галогенідів, нерозчинних у спирті. Подальше промивання водою в таких випадках призводить до займання маси. Скальпель і пінцет, якими проводились роботи із металевим натрієм, відразу ж витирають фільтрувальним папером і поміщають у пробірку з лігроїном або гасом. Дисперсії натрію у вуглеводнях миттєво

спалахують на повітрі після видалення розчинника, тож їх розкладають додаванням безводного спирту без доступу повітря.

Ураховуючи те, що натрій бурхливо взаємодіє з водою і з гарячим гліцерином, для нагрівання реакційних сумішей, у яких міститься не лише натрій, а й інші лужні метали, варто користуватися тільки повітряними, масляними та піщаними банями. Використання водяних і гліцеринових бань забороняється. Щоб у колбу не змогли потрапити сліди вологи з водяного холодильника, варто використовувати запобігаючу паперову муфту із фільтрувального паперу.

Суміші натрію з галогенопохідними вуглеводнів, за винятком повністю фторованих, вибухають від удару, стиснення або при підвищенні температури. Подрібнений натрій взаємодіє з нерозбавленими галогеналкілами та галогенарилами з вибухом.

Взаємодія водних розчинів кислот із металом також призводить до вибуху, хоча безводні хлороводень, фтороводень і сірчана кислота повільно реагують із натрієм. Отже, варто запобігати контактів натрію з кислотами, водою, хлорованими органічними сполуками, а також твердим діоксидом вуглецю.

Варто мати на увазі, що суміші натрію з органічними сполуками, що містять нітрогрупи, наприклад з нітрометаном, нітробензолом, динітробензолом, дінітронафталіном, етилнітрином, етилнітратом, тринітрогліцерином ~~і ін~~ тощо чутливі до удару. Вибухонебезпечність сумішей підвищується зі збільшенням кількості нітрогруп.

Абсолютування органічних розчинників.

Металевий натрій дуже часто використовують як сильний осушувальний засіб. Дозволяється абсолютування натрієм лише вуглеводнів і ефірів, що містять не більше 0,5 % води, тому що наслідком бурхливого перебігу реакції натрію з водою може бути вибух. Отже, застосування натрію можливо лише за умови попереднього висушування розчинників іншими безпечними осушувальними речовинами, наприклад, хлоридом кальцію, сульфатом натрію або пентаоксидом фосфору.

Особливо ретельно повинен висушуватися діетиловий етер, оскільки, за наявності слідів вологи в ньому під час контакту з натрієм, він може вибухнути. При взаємодії натрію із вологою,

що міститься в розчиннику, утворюються газоподібний водень і гідроксид натрію, що покриває поверхню металу тонкою плівкою. Плівка уповільнює або повністю припиняє подальшу реакцію. Тому, щоб підвищити повноту використання натрію, його найчастіше застосовують у вигляді тонкого дроту, що має велику питому поверхню. Склянку з розчинником після внесення натрієвого дроту обов'язково закривають пробкою з хлоркальцієвою трубкою або капіляром, оскільки при взаємодії натрію з вологою виділяється водень, і склянку може розірвати. Потім склянку поміщають у металевий контейнер, дно і стінки якого викладені азбестом. Зберігається контейнер в окремому ящику для ЛЗР. Критерієм якості осушування є поверхня натрієвого дроту – у сухому розчиннику вона тривалий час залишається блискучою.

Використовується для абсолютування і сплав натрію з калієм. Сплав калій-натрій містить 50–85 % калію за масою, температура його плавлення – нижче кімнатної. Рідкий сплав за кімнатної температури навіть за легкого струшування витікає з-під оксидної плівки, забезпечуючи більш ефективний контакт з реагентами, порівняно із твердим металом. Це дозволяє без кип'ятіння, значно швидше домогтися повного видалення води з розчинника. Однак ризик, пов'язаний із використанням сплаву як осушувача, навряд чи компенсується цими перевагами. Сплав, так само як і калій, під час контакту з повітрям утворює надзвичайно вибухонебезпечний пероксид, що становить особливу небезпеку у процесі осушування схильних до утворення пероксидів етерів.

Після видавлювання дроту з невеликих, очищених від гідроксидних плівок шматочків натрію на спеціальному пресі у пляшку з розчинником, який потрібно абсолютувати, поршень преса і патрон, обрізки й залишки дроту натрію, у кількості не більше 2–3 г поміщають у фарфоровий стакан і заливають їх невеликими порціями етилового спирту до повного розчинення. Допускається використання ізопропілового спирту, що містить до 2 % води. Потім промивають водою. Існує спосіб знищення невеликих шматочків натрію в колбі з холодною водою. Поверх води наливають шар бензину товщиною 3–5 см. Шматочки

натрію по одному опускають у колбу. Черговий шматочок вносять лише після повного розчинення попереднього. Натрій розчиняється на межі розділення фаз, захисний шар бензину перешкоджає загорянню водню. Спосіб зручний, проте з міркувань безпеки не має переваг перед загальноприйнятими методами.

➤ **Сплавлення натрію з органічними речовинами**

Для визначення наявності в органічних сполуках нітрогену, сірки, галогенів використовують сплавлення з натрієм. Унаслідок цього процесу водночас легко утворюються ціанід натрію, сульфід натрію і сполуки натрію з галогеном, які можна легко ідентифікувати за допомогою якісних реакцій. Для сплаву речовини з натрієм його шматочок розміром близько 3 мм (не більше 30 мг) поміщають у пробірку зі скла "Пірекс". Пробірку нагрівають у полум'ї пальника до розплавлення натрію (т. пл. 97,7 °C). У цей момент пальник забирають і вносять у пробірку на кінчику ножа або шпателя близько 20 мг досліджуваної твердої речовини або 2 мікрокраплини рідини. Коли у пробірці відбудеться спалах, сплавлення можна вважати закінченим. Після охолодження до кімнатної температури до сплаву по краплях додають метиловий або етиловий спирт на той випадок, якщо у пробірці залишився металічний натрій, що не прореагував. Потім, тримаючи пробірку так, щоб отвір був направлений від себе і від інших осіб, що перебувають поряд, вносять у неї піпеткою 1 мл води. Суміш кип'ятять, перемішують, додають ще 2–3 мл води і фільтрують через маленький фільтр.

11.2. Правила роботи з літієм

Літій (*густина 0,534 г/см³, температура плавлення 180,5 °C*).

Із холодною водою літій реагує спокійно, із гарячою (вище 80 °C) – реакція відбувається бурхливо, і водень, що виділяється, може спалахнути. Порошок літію реагує з водою із вибухом. Зі спиртами літій реагує повільніше, ніж із водою; із первинними спиртами активніше, ніж із вторинними і третинними, із нижчими активніше, ніж із вищими. За нормальної температури літій повільно взаємодіє з киснем повітря. Під час підвищення

температури реакція відбувається більш бурхливо, і за температури вище точки плавлення метал може спалахнути.

Дисперсія металу може спалахнути на повітрі й за кімнатної температури. За кімнатної температури літій повільно реагує з діоксидом вуглецю. Розплавлений метал горить в атмосфері вуглекислого газу. Варто підкреслити, що на відміну від інших лужних металів, літій взаємодіє із азотом вже за кімнатної температури. Шматки металу в атмосфері азоту вкриваються сіро-чорною губчастою масою нітриду літію. Нітрид літію також активно взаємодіє з водою, й небезпека роботи з порошкоподібним літієм значно зростає, якщо частки металу вкриті шаром нітриду. З цієї причини апаратуру для роботи з літієм рекомендується продувати не азотом, а аргоном. Присутність оксиду або нітриду сприяє самозайманню металу.

Суміші літієвих стружок із деякими галогенопохідними вуглеводнів (наприклад, CHBr_3 , CBr_4 , CCl_4 , Cl_4 , CHCl_3 , CH_2Cl_2 тощо) виявляють детонаційні властивості. Коли шматки літію, промиті чотирихлористим вуглецем з метою видалення слідів масла, ріжуть ножом, можливий вибух.

Літій легший за будь-який органічний розчинник. Тому його не можна зберігати в гасі або в рідкому маслі. Літій зберігають у вазеліні або парафіні. Необхідно мати на увазі, що в закупорених банках, де під шаром парафіну зберігається літій, створюється відносно високий вакуум і, якщо банка зроблена з неякісного скла, може статися вибух. Причиною створення такого вакууму є взаємодія літію навіть за кімнатної температури з киснем і азотом повітря.

Оксидні плівки з поверхні шматків літію, як і натрію, рекомендується видаляти гострим ножом під шаром ксилолу або мінерального масла, попередньо висушених над натрієвим дротом. Обрізки і невеликі (не більше горошини) шматочки літію можна знищити шляхом розчинення у великій кількості холодної води у витяжній шафі.

Під час роботи з літієм апаратуру необхідно продувати аргоном.

11.3. Правила роботи з калієм

Калій (густина $0,87 \text{ г/см}^3$, температура плавлення $63,7^\circ\text{C}$).

За хімічними властивостями калій схожий на натрій, але набагато активніший, тому робота із калієм значно небезпечніша, ніж із натрієм.

Взаємодія калію навіть із холодною водою відбувається настільки бурхливо, що водень, що виділяється, негайно загоряється. Необхідно повністю виключити можливість потрапляння шматочків калію в охолоджувальну баню: під час контакту калію зі снігом або льодом відбувається вибух.

Зі спиртами калій реагує набагато активніше, ніж натрій. Спроби отримання алкоголятів шляхом додавання калію до спиртів (включаючи октанол, бензиловий спирт, циклогексанол) призводять до вибуху, якщо повітря з реакційної колби попередньо не витіснене азотом або аргоном. Вносити калій у спирти рекомендується малими порціями при перемішуванні, обов'язково контролюючи температуру реакційної маси. Додавати чергову порцію калію слід лише після охолодження розчину.

Із діоксидом вуглецю калій реагує аналогічно натрію. Нагріті пари калію роз'їдають скло, відновлюючи силікат до вільного кремнію. З галогенопохідними вуглеводнів калій утворює вибухонебезпечні суміші, ще більш чутливі до удару й нагрівання, ніж суміші з натрієм. Вибухонебезпечність підвищується зі збільшенням кількості атомів галогену в молекулі.

Так, суміш калію з чотирехлористим вуглецем в 150–200 разів чутливіша до удару порівняно із гримучою ртуттю, а суміш калію із бромформом вибухає від незначного струшування. Суміші з тетра- і пентахлоретаном вибухають самочинно.

Багато органічних і неорганічних сполук, що містять нітрогрупу, наприклад нітрат амонію, пікринова кислота, нітробензол, нечутливі до удару, але стають надзвичайно вибухонебезпечними у присутності навіть слідів калію або калій-натрієвого сплаву.

З абсолютно сухим киснем калій не взаємодіє навіть під час нагрівання до температури кипіння, але у вологому повітрі

окиснення відбувається настільки швидко, що метал розплавляється й може спалахнути, особливо якщо локально застосовується тиск, наприклад, у процесі видавлювання дроту.

Під час зберігання металевого калію в контактi з повітрям його шматки вкриваються щільною плівкою надпероксиду калію із проміжним прошарком оксиду. Надпероксид калію – дуже енергійний окисник. Реакція його з водою відбувається надзвичайно бурхливо, а взаємодія надпероксиду калію зі здатними до окиснення органічними або неорганічними речовинами часто супроводжується вибухом. Вибух можливий навіть під час контакту органічних речовин із дуже окисненими шматками калію. У процесі зрізання оксидної плівки зі шматків калію нерідко відбувається спалах або навіть вибух. Хоча безпосередній контакт між надпероксидом і металом призводить до займання лише після деякого індукційного періоду, присутність слідів води, домішок вуглеводневих розчинників або мінерального масла значно збільшує ймовірність вибуху.

Отже, використання окисненого калію, а також рубідію і цезію, вкрай небезпечно. Тому від оксидних плівок калій очищають плавленням шматків металу по 20 г під шаром висушеного гептану у високій склянці. Під час розплавлення калій ($T_{\text{пл}} = 63,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) спливає над оксидною плівкою. Після охолодження глобулу металу виймають довгим пінцетом і переносять у тарований бюкс із гептаном. Проте старі, дуже окиснені шматки калію, у яких шар оксидів забарвлений в жовтий або жовто-оранжевий колір, використовувати не можна. Вони повинні знищуватися додаванням невеликих порцій *трет*-бутилового спирту у фарфоровому стакані під шаром ксилолу. Відходи калію знищують, заливаючи їх сумішшю рівних кількостей петролейного етеру й безводного ізопропілового спирту. Знищення залишків калію за допомогою етилового спирту є грубим порушенням правил техніки безпеки. Не допускається збір обрізків калію й натрію в одну ємність. Під час контакту двох металів утворюється сплав, який за певного співвідношення компонентів стає рідким за кімнатної температури, що значно підвищує небезпеку роботи з ним.

Особливо варто зазначити, що калій легко реагує з різними формами вуглецю – сажею, графітовим порошком, активованим вугіллям. За підвищених температур реакція відбувається бурхливо, із вибухом. Вибухи можуть відбуватися також під час спроб загасити палаючий калій графітовим порошком, який часто рекомендують як вогнегасний засіб.

11.4. Рубідій і цезій

За своєю хімічною активністю рубідій перевершує літій, натрій, калій. Під час зберігання на повітрі рубідій окиснюється настільки швидко, що часто ця реакція супроводжується розплавленням і перетворенням металу в оксид. Рубідій, вільний від оксидів, спалахує в абсолютно сухому кисні. Він легко розкладає воду, причому ця реакція супроводжується виділенням великої кількості тепла. Із хлором і фтором рубідій реагує зі спалахом, а із рідким бромом – із вибухом, утворюючи відповідні галоїдні сполуки.

Із погляду хімії цезій є найбільш активним серед описаних лужних металів. На повітрі окиснення цезію навіть за нормальної температури відбувається настільки швидко, що він плавиться і спалахує.

11.5. Техніка безпеки під час роботи з лужними металами

Забороняється зберігати в лабораторії лужні метали в кількості більше добової потреби.

Перед початком роботи з лужними металами необхідно перевірити наявність у лабораторії протипожежних засобів: порошкових вогнегасників, сухого піску, сухої соди або крейди, азбестової ковдри, пластмасового совка, балонів з інертним газом (азот, бажано аргон).

Лужні метали належать до найбільш активних елементів, що зумовлює їхню високу пожежо- та вогнебезпечність, а також агресивність стосовно тканин організму. Під час потрапляння на шкіру або вологий одяг шматочків металів можливі хімічні опіки й навіть займання. Надзвичайно небезпечні опіки розплавленими

лужними металами. Термічні опіки в цьому випадку посилюються важкими хімічними опіками.

Тому робота з лужними металами обов'язково повинна проводитися у витяжній шафі, на металевому деку, в окулярах або захисному щитку (масці) і гумових рукавичках, далеко від джерел води і вогню, а також органічних речовин, що містять галогени, і твердого оксиду вуглецю (сухого льоду).

Під час потрапляння шматочків лужних металів на шкіру їх слід негайно видалити, протерти шкіру етиловим спиртом, потім промити уражене місце під струменем води (10–15 хв). Після промивання для нейтралізації накласти пов'язку з марлі або ватний тампон, просочений 5 %-м розчином оцтової кислоти. Через 10 хв пов'язку зняти, обережно видалити залишки вологи зі шкіри фільтрувальним папером або м'якою тканиною.

11.6. Гасіння лужних металів

Під час вибору способу пожежогасіння варто розрізнити:

- горіння власне лужних металів,
- горіння водню, що виділяється у процесі взаємодії металу з водою,
- горіння органічного розчинника у присутності лужного металу.

Найбільш небезпечно, коли загоряється сам лужний метал, хоча такі випадки відбуваються рідше. Особливо важко гасити пожежі за участі літію та натрій-калієвого сплаву, який за кімнатної температури є рідиною¹⁵.

У процесі гасіння лужних металів забороняється застосування води, пінних вогнегасників і двоокису вуглецю. У приміщенні краще використати сухий порошок кальцинованої соди.

Лужний метал вважається повністю погашеним лише після повного охолодження. Незгорілі залишки металу ретельно

¹⁵ Евтектика сплаву має склад 77,2 % K і 22,8 % Na. Сплав залишається рідким у широкому діапазоні температур від –12,6 до 760 °C. Густина евтектики 866 кг/м³ за 21 °C і 855 кг/м³ за 100 °C. Сплав залишається рідким за кімнатної температури при масовій частці калію в сплаві від 40 % до 90 %.

збирають у товстостінний фарфоровий стакан і знищують звичайним способом.

➤ ***Гасіння натрію, калію і сплаву натрій-калій***

Гарячі металічний калій або натрій гасять порошковими вогнегасниками, сухим піском, азбестовою ковдрою. Застосування води заборонено.

Для гасіння натрію, калію, сплаву натрій-калій поверхню палаючого металу засипають порошком із вогнегасників ПС-1 і ПС-2. Порошок повинен повністю покрити поверхню палаючого металу. Горіння припиняється також під час засипання металів сухим кварцевим піском, порошком кальцинованої соди, дрібної кухонної солі, задуванні азотом і аргоном. Аргон ефективніший, оскільки важчий за повітря, а кухонна сіль краща за пісок, оскільки за високої температури натрій і калій можуть реагувати з діоксидом кремнію.

Рекомендований іноді як вогнегасний засіб порошкоподібний графіт придатний для гасіння палаючого натрію, але не калію. Під час горіння калію і сплаву калій-натрій, як зазначалося вище, утворюється надпероксид калію, що реагує із графітом з вибухом. Непридатні для гасіння натрію й калію порошкові вогнегасники, заряджені сумішшю ПСБ на основі бікарбонату натрію та сумішшю CI-2, що містить тетрафтордиброметан.

На відміну від літію, натрій не реагує з азотом, і горіння металу в атмосфері азоту припиняється.

Діоксид вуглецю непридатний для гасіння натрію й калію, проте вуглекислотним вогнегасником можна успішно загасити розчинник у присутності натрію. Зазвичай натрій не загоряється, поки не вигорить весь розчинник, оскільки пари розчинника захищають метал від контакту з киснем повітря. Іноді цей ефект вдається використовувати під час гасіння палаючого металу. Якщо на палаючий у будь-якій ємності натрій вилити невелику кількість гасу, то полум'я можна повністю загасити за допомогою вуглекислотного вогнегасника.

➤ ***Гасіння літію***

Гасіння палаючого літію – набагато серйозніша проблема, ніж гасіння натрію й навіть калію. Використання звичайних засобів пожежогасіння (вода, піна, діоксид вуглецю, галогеновмісні

похідні вуглеводнів) або збільшує полум'я, або призводить до вибуху. За температур вище 250 °С, літій швидко руйнує скло, кварц, бетон, реагує з піском. Літій продовжує горіти в атмосфері азоту та вуглекислого газу. Непридатні для гасіння хлорид і карбонат натрію, тому що в контактi з цими солями літій витісняє натрій, не можна використовувати порошкові вогнегасники на основі ПС-1 і ПС-2 композицій.

Для гасіння літію розроблені спеціальні порошкові композиції ПС-11, ПС-12 і ПС-13 на основі різних флюсів і графіту з гідрофобізуючими добавками. Можна використовувати також порошкоподібний графіт, хлорид літію, хлорид калію. У процесі роботи з літієм крім звичайних засобів пожежогасіння необхідно мати наготові достатню кількість одного з перерахованих порошків.

Літій можна загасити також, витіснивши повітря з осередку горіння аргонном. Подавати аргон варто так, щоб струмінь газу не розбризкував рідкий метал. Після припинення горіння залишки металу слід остудити в струмі аргону.

До речі, для гасіння гідридів лужних металів, зокрема, алюмогідриду літію, осередки горіння рекомендується засипати піском, подрібненою крейдою або хлоридом натрію. Використання води, пінних, вуглекислотних вогнегасників заборонено.

Таблиця 11.1

Характеристики вогнегасних порошків і діапазон їхнього застосування

Марка порошку	Основний компонент	Клас пожежі
ПСБ, ПСБ-3	натрію бікарбонат,	В, С, Е
ПФ	діамонійфосфат	А, В, С, Е
П-1А, П-2АП	амофос	А, В, С, Е
СІ-2	крупнопористий силікагель, насичений тетрафтордиброметаном (1:1 за масою)	В, С, Е, а також гасіння пірофорних металоорганічних сполук

		(концентрованих розчинів та індивідуальних алюмінієорганічних сполук)
ПГС, ПГС-М	хлориди лужних металів	А, В, С, D, Е
ПС-1, ПС-2	натрію карбонат	В, С, D (для гасіння натрію й калію, <i>але не літію (!)</i>), Е
ПС-11, ПС-12, ПС-13	різноманітні флюси і графітова пудра	D (для гасіння літію, магнію)

Розділ 12. Правила роботи із ртуттю

Ртуть позначається символом Hg (гідраргірум, у перекладі з грецького "рідке срібло"). Цю назву елементу дали алхіміки. Срібляста, дуже рухлива рідина; єдиний метал, що за нормальних умов існує в рідкому агрегатному стані. Температура плавлення $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Водночас, ртуть – важкий метал, 1 л якого важить майже 14 кг. У твердому стані має ковкість, характерну для металів. Практично не розчиняється у воді, не змочує скло. Ртуть і її пари не мають запаху; пари безбарвні, під дією електричного розряду світяться голубувато-зеленим світлом і випромінюють у рентгенівському спектрі.

Вміст ртуті в земній корі оцінюється у 6,1–7 %, ртуть є у повітрі, воді, у більшості гірських порід. Самородна ртуть існує у вигляді крапель, але набагато більше її у складі мінералів та глин. Ртуть міститься у більше ніж 30 мінералах, найважливішим є кіновар (HgS).

У давнину ртуть отримували простим випалюванням кіноварі на вогнищах, а потім за її допомогою виплавляли золото і срібло. Сьогодні ртуть одержують набагато більш технологічним способом, ніж у давнину, але сенс процесу залишився той самий: випал кіноварі.

Щорічний світовий видобуток ртуті становить близько 6000 т, вона застосовується в багатьох галузях промисловості.

Металічна ртуть активно використовується у практиці хімічних лабораторій. Під час нагрівання вона поступово розширюється – і саме завдяки цій властивості досі використовується як термометрична рідина. Загальновідоме її використання для заповнення термометрів, вакуумметрів, затворів, реле, для здобуття високого вакууму у ртутних дифузійних насосах, у процесі електрохімічних досліджень, у полярографічному аналізі із застосуванням ртутного краплинного електрода, для точного калібрування мірного посуду, для визначення пористості адсорбентів тощо. Використовується здатність ртуті утворювати амальгаму з більшістю металів, її каталітичні властивості в різних хімічних реакціях. Ртуть добре проводить струм та є діаманетиком.

Ртуть – речовина I класу небезпеки, тіолова отрута. Пари металічної ртуті, як і більшість її сполук, виявляють надзвичайно високу токсичність: ГДК парів ртуті в повітрі складає $0,01 \text{ мг/м}^3$, а середньомісячна ГДК – $0,005 \text{ мг/м}^3$.

Концентрація парів ртуті, здатна завдати важких хронічних захворювань, коливається від $0,001$ до $0,005 \text{ мг/м}^3$ за умови впливу протягом декількох місяців. Гостре отруєння може виникнути при $0,13\text{--}0,80 \text{ мг/м}^3$. Інтоксикація зі смертельними наслідками розвивається при вдиханні $2,5 \text{ г}$ парів ртуті. Гранично допустима концентрація парів ртуті (ГДК) в атмосферному повітрі становить $0,0003 \text{ мг/м}^3$.

Розбитий термометр відразу створює до $100\text{--}200$ ГДК у кімнаті, де залишилися краплі ртуті (за даними «Ecospace» у 2014 р.) За такої концентрації парів ртуті в повітрі приміщення у здорової дорослої людини через деякий час (від декількох днів до декількох місяців) з'являються ознаки хронічного отруєння ртуттю. Для порушень здоров'я дитини достатньо і $1,5$ -кратного перевищення ГДК у той самий термін.

Найбільш чутливі до ртутних отруєнь жінки і діти. Інтоксикація відбувається здебільшого через дихальні шляхи, близько 80% парів ртуті, що вдихається, затримується в організмі й залишається там на все життя. Потрапивши в організм людини, ртуть негативно позначається на білковому обміні, шкодить нервовій системі і ниркам, навіть може викликати порушення роботи психіки та серцево-судинної системи. Під час вдихання повітря, що містить пари ртуті в концентрації не вище $0,25 \text{ мг/м}^3$, ртуть повністю затримується в легенях. У разі вищих концентрацій парів в атмосфері можливий і інший шлях їхнього проникнення в організм – через неушкоджену шкіру. Ступінь токсичної дії ртуті визначається насамперед тим, яка кількість металу встигла прореагувати в організмі, перш ніж її звідти вивели, тобто небезпечна не сама ртуть, а сполуки, що вона утворює. Солі й кисень, що містяться у крові, сприяють поглинанню ртуті, її окисненню й утворенню ртутних солей.

У процесі надходження в організм у підвищених концентраціях ртуть має здатність накопичуватися у внутрішніх органах: нирках, серці, мозку.

Особлива небезпека дії ртуті викликана саме її фізичними властивостями. Ртуть – це надзвичайно рухлива рідина й дуже часто, незважаючи на всі перестороги, ртуть може потрапити або на підлогу, або на поверхню робочого столу. Водночас найдрібніші кульки ртуті розкочуються по всьому приміщенню, потрапляючи навіть у найменші щілини та важкодоступні місця. Через значну площу поверхні навіть невеликі кількості ртуті інтенсивно випаровуються і швидко створюють у замкненому об'ємі, особливо за недостатньої вентиляції, небезпечні концентрації парів. У невеликому приміщенні достатньо одного розбитого ртутного термометра і, за умови не проведення демеркуризації, все працівники зазнають отруєння, що важко піддається лікуванню. За ніч при вимкненій вентиляції за 20°C 25 мг розливої ртуті створюють у кімнаті об'ємом 100 м³ середню концентрацію парів ртуті, що в 30 разів перевищує ГДК. Небезпечні концентрації ртутних парів особливо швидко створюються під час розбиття ртутного термометра у сушильних шафах, що зазвичай розміщують поза витяжною шафою. У таких випадках ртуть випаровується зі значно більшою швидкістю.

Варто враховувати, що пари ртуті активно адсорбуються штукатуркою, деревом, іржею, текстильними та синтетичними матеріалами, лінолеумом, склом, металами. Процес адсорбції обернений, тому стіни, стеля, меблі в зараженому ртуттю приміщенні стають додатковими джерелами виділення її парів, особливо за підвищення температури повітря. З цієї причини концентрація парів може перевищувати ГДК навіть за безперервно працюючої вентиляції й при ретельному прибиранні; щоб зробити приміщення придатним для роботи, проводиться складний і трудомісткий ремонт.

Небезпечні пари не лише розливої ртуті. Негерметично закриті прилади із ртуттю, наприклад, ртутні затвори для мішалок, деякі конструкції манометрів, а також ємності із негерметичними кришками для зберігання ртуті слугують постійним джерелом парів ртуті в атмосфері.

Неприпустимим є скупчення ртуті у сифонах раковин, потрапляння парів ртуті в масляні насоси у процесі заповнення вакуумметрів, перегонки ртуті й інших операцій.

Тривалий час побутувала думка, що пари ртуті внаслідок високої атомної маси завжди опускаються вниз. Це призводить до занижених оцінок концентрації ртутних парів у зоні дихання. Варто мати на увазі, що за кімнатної температури у процесі випаровування ртуті утворюється пароповітряна суміш із малою концентрацією парів ртуті. Така суміш повітря із парами ртуті не опускається вниз, а розсіюється по всьому приміщенню. Необхідно звернути особливу увагу, що шар води, масла, гліцерину й інших рідин, налитих поверх ртуті, не перешкоджає її випаровуванню. Цей факт пояснюється тим, що розчинність ртуті в багатьох рідинах хоча і дуже мала, але все-таки вища, ніж розчинність ртуті у повітрі. Наприклад, розчинність ртуті у воді за 25°C складає 3×10^{-7} моль/л або 60 мг/м³, що втричі перевищує концентрацію її насиченої пари в повітрі за тієї ж температури (20 мг/м³). Отже, негерметично закриті прилади із ртуттю є постійними джерелами надходження парів ртуті в атмосферу.

Залежно від кількості ртуті і тривалості її впливу на організм можливі: гострі отруєння, хронічні отруєння, мікромеркуріалізм.

У практиці хімічних лабораторій гострі отруєння зустрічаються рідко – під час потрапляння значної кількості парів ртуті в організм людини протягом нетривалого часу унаслідок аварій або грубого порушення правил техніки безпеки. Гострі отруєння можливі під час нагрівання неізольованої ртуті поза витяжною шафою, наприклад, у процесі користування банями із рідкими теплоносіями (маслом, гліцерином; сплавом Вуда), у які потрапила ртуть із розбитого термометра.

Симптоми отруєння ртуттю (під час потрапляння її через стравохід) видно відразу – синюшність, задишка. Перше, що необхідно зробити в такій ситуації, це набрати номер "швидкої допомоги" та викликати у хворого блювоту.

Симптоми гострого отруєння парами ртуті виявляються вже за декілька годин – загальна слабкість, відсутність апетиту, головний біль, болі при ковтанні, металевий смак у роті, слинотеча, набухання і кровоточивість ясен, нудота і блювота; зазвичай з'являються болі в животі, слизистий пронос (інколи з кров'ю). Досить часто спостерігається запалення легенів, катар верхніх дихальних шляхів, біль у грудях, кашель, задишка,

інколи озноб. Температура тіла може підвищуватися до 38–40 °С. У сечі містяться значні кількості ртуті. У особливо важких випадках через декілька днів можлива смерть.

Пари ртуті, навіть у концентраціях, що у сотні й тисячі разів перевищують ГДК, не мають кольору та запаху, не виявляють подразнювальної дії, тому дуже часто отруєння атмосфери непомітне, і в цих приміщеннях продовжують працювати. Як наслідок, у процесі тривалої роботи (протягом декількох місяців, а інколи й років) у приміщеннях, повітря яких містить пари ртуті в кількостях, що трохи перевищують санітарну норму, виникають хронічні отруєння парами ртуті. За таких отруєнь насамперед страждає центральна нервова система. Перші прояви отруєння можуть бути різноманітними: підвищена стомлюваність, сонливість, загальна слабкість, головні болі, запаморочення, апатія, а також емоційна нестійкість – невпевненість у собі, соромливість, загальна пригніченість, дратівливість. Спостерігається ослаблення пам'яті, уваги, розумової працездатності. Поступово розвивається тремтіння ("ртутний тремор") спочатку пальців рук, що посилюється під час хвилювання, потім повік, губ, у важких випадках – ніг і всього тіла. Маркерами для діагностики ртутних отруєнь є зниження шкірної чутливості, смакових відчуттів і гостроти нюху. Спостерігається також посилення пітливості, часті позиви до сечовипускання, інколи деяке збільшення щитоподібної залози, зміни у серцевому ритмі, пониження кров'яного тиску. Хронічне отруєння підвищує схильність до туберкульозу, атеросклерозу, уражень печінки й жовчного міхура, гіпертонії. У жінок порушується менструальний цикл, збільшується відсоток викиднів і передчасних пологів, мастопатії, вагітність протікає важче, діти, що народилися, часто бувають нежиттєздатними або дуже слабкими. Наслідки хронічного отруєння можуть проявлятися за декілька років після припинення контакту із ртуттю.

Мікромеркуріалізм – це загальне отруєння організму, що виникає у процесі хронічного впливу на людину незначних концентрацій парів ртуті та її сполук протягом 5–10 років. Задовго до появи перших клінічних ознак мікромеркуріалізму

відбуваються різкі зміни чутливості до запаху різних речовин, що можна виявити за допомогою спеціальних тестів. Підставами для перевірки можуть бути: швидка стомлюваність, зниження працездатності, підвищена збудливість, дратівливість, головні болі, послаблення пам'яті. Мікромеркуріалізм може виникати навіть за відсутності контакту із ртуттю, інколи за найнесподіваніших обставин – може зіграти роль дифузія парів ртуті із сусідніх приміщень, ртутний термометр, розбитий дуже давно, якщо ртуть не була ретельно зібрана тощо.

Характерними ознаками, що виявляються не відразу, є дрібний і частий тремор пальців витягнутих рук, кровоточивість ясен, катаральні явища верхніх дихальних шляхів, позиви до частого сечовипускання. Якщо дія парів ртуті на організм продовжується, мікромеркуріалізм переходить у хронічне отруєння ртуттю зі всіма характерними для нього симптомами.

12.1. Виявлення парів ртуті

Для кількісного визначення вмісту парів ртуті в повітрі й локальних скупчень металічної ртуті використовується надзвичайно чутливий люмінесцентний метод аналізу, що реалізується в аналітичному приладі "Меркурій". Дія цього приладу ґрунтується на поглинанні парами ртуті випромінювання ртутної лампи з довжиною хвилі 253,7 нм. Межі чутливості приладу становлять від 0 до 0,005 мг/м³ і від 0 до 0,25 мг/м³.

Якісно наявність парів ртуті визначають за допомогою індикаторних папірців, просочених суспензією йодиду міді (впродовж робочого дня папірець не має набувати рожевого відтінку).

Розроблені лабораторні методи кількісного визначення ртуті в повітрі за допомогою адсорбентних трубок. Через трубку, заповнену гопкалітом, упродовж заданого проміжку часу (від 15 хвилин до 8 годин) пропускають певний об'єм повітря (зазвичай, 50–100 л). Вміст трубки розчиняють у кислоті, аналіз здійснюють методом атомно-абсорбційної спектроскопії за довжини хвилі 253,7 нм. Нижня межа чутливості складає 0,005 мг/м³; впливу неорганічних речовин на результати аналізу

не виявлено. Гопкаліт (англ. hopcalite) – це каталізатор, що складається із суміші оксидів марганцю, міді та срібла.

12.2. Демеркуризація приміщення

Демеркуризація має проводитись двома способами: механічним і хіміко-механічним.

Насамперед потрібно провести механічне очищення приміщення. Спочатку зібрати помітні великі кульки (можна спринцівкою) і відразу скинути їх у скляну банку з розчином (2 г перманганату калію, 10 мл конц. HCl на 1 літр води), більш дрібні кульки зібрати щіточкою на папір і теж скинути в банку. Ртуть тоді перетворюється в каломель. Банку щільно закрити кришкою.

Під час збирання ртуті не можна обмежуватися оглядом лише доступних ділянок. Слід враховувати, що металева ртуть дуже рухлива і найдрібніші її кульки можуть "розбігатися" далеко від місця падіння, падаючи в щілини, тріщини й інші важкодоступні місця. Із заглиблень і щілин ртуть дістають за допомогою смужок або пензликів із мідного або латунного дроту або інших металів, що здатні утворювати амальгаму. Щоб ртуть добре прилипала до мідних пластинок або пензликів, перед вживанням їх промивають ацетоном, потім занурюють у розбавлену азотну кислоту і, нарешті, промивають водою. Мідними пензликами ртуть можна легко зібрати під шаром води або органічних рідин. Амальговані пластинки і пензлики самі можуть бути джерелами отруєння повітря, тому їх варто зберігати у спеціальних герметичних банках.

Меблі та прилади, під які могли потрапити кульки ртуті, обов'язково переставляють. У разі потрапляння ртуті на дерев'яні меблі, виймають всі шухляди й полиці, особливу увагу звертають на пази та щілини. Шухляди вибивають над шматком лінолеуму або підстилкою із клейонки. Щілини і стики слід прошпаклювати та пофарбувати олійною фарбою.

У місці, де розлилася ртуть, нещільно прилеглі до підлоги ділянки лінолеуму піднімають, плінтуси відривають від стін. Під час виявлення вкраплень ртуті забруднені нею ділянки шпакатурки зрізають.

Механічне очищення, як би ретельно воно не проводилося, усе ж не може вважатися достатнім. Дрібні краплі, особливо з щілин і тріщин, не можна дістати повністю, крім того, неможливо видалити адсорбовані поверхнею пари ртуті, тому після механічного очищення обов'язково проводять хімічну обробку забруднених ділянок.

Різні методи хімічної обробки засновані на окисненні ртуті з перетворенням її в оксид або в хлорид, тобто замість рідкої ртуті утворюються солі, що не виділяють у повітря отруйних парів і небезпечні лише під час потрапляння у стравохід. Однак варто мати на увазі, що ртуть – хімічно стійка речовина, тому хімічні дегазуючі агенти здатні окиснити лише поверхню ртуті й ефективні у процесі обробки лише дуже дрібних крапель.

На більших краплях теж утворюється захисна плівка, проте ефект зниження концентрації парів ртуті в повітрі виявляється лише тимчасовим. За підвищення температури або механічного впливу оксидна плівка розтріскується і випаровування ртуті відновлюється.

Не всі описані у літературі способи хімічної обробки достатньо ефективні. Наприклад, абсолютно марно засипати ртуть дрібним порошком сірки, оскільки за кімнатної температури й навіть під час нагрівання до 100 °С ртуть і її пари практично не взаємодіють із подрібненою сіркою. Не можна застосовувати для обробки металеві порошки, що утворюють амальгами, в усякому разі без подальшого ретельного прибирання, оскільки цей прийом не зменшує, а може навіть збільшити швидкість випаровування ртуті. Не рекомендується також застосовувати газоподібний сірководень. У нешкідливих для здоров'я концентраціях сірководень неефективний. Застосування високих концентрацій (1 г/м³ і вище) у лабораторному приміщенні пов'язано з серйозними технічними труднощами, до того ж захисна плівка сульфиду ртуті, що утворюється, не відрізняється міцністю, і через деякий час після демеркуризації концентрація парів ртуті в повітрі може відновитися до небезпечного рівня.

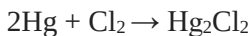
➤ *Демеркуризація розчином хлориду заліза*

Одним із найбільш простих і надійних методів демеркуризації є демеркуризація розчином хлориду заліза (III). Метод заснований на взаємодії ртуті з розчином FeCl_3 . Унаслідок хімічної реакції дрібні краплі ртуті перетворюються в оксиди та хлориди. Більші краплі у процесі механічного змішування з розчином переходять у дрібнодисперсний стан, що збільшує їхню реакційну здатність і полегшує подальше прибирання. Для демеркуризації рекомендується використовувати 20 % водний розчин FeCl_3 . Більш розбавлені розчини менш стійкі внаслідок гідролізу. Розчин готують із розрахунку 10 л на 25–30 м² площі приміщення. Невеликі порції хлориду заліза розчиняють у холодній воді у процесі перемішування. Оброблювану поверхню рясно змочують розчином, потім кілька разів протирають щіткою для кращого емульгування ртуті й залишають до повного висихання. Через 1–2 доби поверхню ретельно промивають спершу мильним розчином, потім чистою водою для видалення продуктів реакції та ртуті, що не прореагувала.

Варто мати на увазі, що розчин хлориду заліза викликає сильну корозію металевого обладнання та приладів, а також псування дерев'яних меблів і деяких пластиків. Металеві частини приладів рекомендується захищати, змащуючи їх перед обробкою вазеліном.

➤ *Демеркуризація розчином перманганату калію*

Метод заснований на взаємодії ртуті з вільним хлором, що утворюється у процесі реакції перманганату калію із соляною кислотою. Утворюється малотоксична, нерозчинна у воді каломель:



Каломель, залишена на повітрі, із часом розкладається з виділенням металевої ртуті, тому після демеркуризації оброблені поверхні ретельно промивають.

Рекомендується використовувати розчин, що містить в 1 л 1–2 г KMnO_4 і 5 мл конц. HCl . Обробку зручно проводити за допомогою пульверизатора. Через 1–2 год можна розпочинати збирання ртуті. Розчин викликає корозію металевого обладнання,

хоча і в меншій мірі, порівняно з розчином хлориду заліза. У разі утворення бурих плям на підлозі й меблях їх можна видалити 3 % розчином перекису водню.

➤ **Демеркуризація хлорним вапном і полісульфідом натрію**

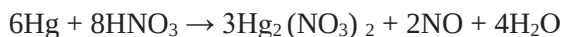
Метод досить ефективний, хоча і більш трудомісткий, оскільки полягає в послідовній обробці двома розчинами. Під час обробки хлорним вапном утворюється каломель, яка у процесі взаємодії з розчином полісульфіду натрію перетворюється у сульфід ртуті.

Хлорне вапно застосовують у вигляді 20 % суспензії у воді. Для отримання полісульфіду натрію нагрівають 1 кг кристалічного сульфід натрію до 105 °С і під час перемішування поступово додають 100–150 г меленої сірки до отримання однорідної маси, яку потім розчиняють у 10–12 л води.

Поверхні, які потрібно демеркуризувати, спочатку обробляють хлорним вапном, через 2–3 години вапно змивають, після чого наносять розчин полісульфіду натрію. Приміщення закривають і через добу промивають оброблені місця теплою мильною водою.

➤ **Демеркуризація апаратури і посуду**

Хоча абсолютно чиста ртуть не змочує поверхню скла та порцеляни, у присутності навіть мінімальних забруднень найдрібніші краплини ртуті прилипають до фарфорового, скляного посуду і приладів. Тому посуд, у якому містилася ртуть, необхідно спершу ретельно демеркуризувати, а вже потім мити як звичайний посуд. З метою видалення ртуті з поверхні скляного посуду використовують здатність металу розчинятися в розведеній азотній кислоті:



Дрібний посуд і деталі приладів цілком заливають розведеною азотною кислотою в товстостінній склянці відповідного об'єму й залишають на кілька годин, а краще на ніч. Після такої обробки посуд промивають водою. Посуд і прилади великого розміру ретельно споліскують зсередини невеликою кількістю злегка підігрітою для прискорення реакції 50–56 % азотною кислотою.

Якщо скляний прилад забруднений зовні, його протирають кілька разів фільтрувальним або газетним папером, що попередньо розмочують у воді і потім віджимають. Папір після протирання в жодному разі не можна викидати. Його поміщають у банку, що закривається пробкою, заливають розчином, у 1 л якого міститься 1 г KMnO_4 і 5 мл конц. HCl і зберігають протягом декількох днів.

У тих випадках, коли ртуть потрапляє на металеві частини приладів і утворює амальгаму, застосування кислот не дає бажаного ефекту.

12.3. Перша допомога під час отруєння парами ртуті

У разі важких гострих отруєнь перорально потрібно негайно промити шлунок водою з 20–30 г активованого вугілля, або білковою водою (збитий із водою яєчний білок), після чого дати молоко, а потім проносе.

При гострих отруєннях необхідно вивести постраждалого із зони ураження, забезпечити повний спокій, потім госпіталізувати.

При отруєнні ртуттю необхідно дати три сирих яйця в 1 л молока, викликати блювоту, викликати лікаря.

При легкій, початковій формі отруєння не контактувати з ртуттю 3–4 тижні й забезпечити лікування у стаціонарних умовах.

Засоби індивідуального захисту – промислові фільтрувальні протигази марки "Г", респіратор протигазовий РПГ-67-Г.

Список використаних джерел

1. Hill R. H. Laboratory Safety for Chemistry Students. – 2nd ed. / Hill H. Robert, Jr. and David C. Finster. – Wiley, 2016. – 577 p.
2. Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Management of Chemical Hazards. – Updated Version (National Research Council) / The Committee on Prudent Practices in the Laboratory: An Update, National Research Council. – National Academies Press, 2011. – 361 p.
3. Safety in Academic Chemistry Laboratories. – 8th ed. / A Publication of the American Chemical Society Washington, D.C., 2017
4. Joint Board – Council Committee on Chemical Safety. – ACS, 2017. – 71 p.
5. Guidelines for Laboratory Design: Health, Safety, and Environmental Considerations. – 4th ed. / Louis J. DiBerardinis et al. – Wiley, 2013. – 532 p.
6. Вредные вещества в промышленности : в 3-х т. – 7-е изд., пер. и доп. / ред. Н. В. Лазарев, Э. Н. Левина. – Л., 1976. – Т. 1–2.
7. Вредные вещества в промышленности : в 3-х т. – 7-е изд., пер. и доп. – Л., 1977. – Том III. – 608 с.
8. Захаров Л. Н. Техника безопасности в химических лабораториях : Справ. изд. – 2-е изд., пер. и доп. / Л. Н. Захаров. – Л., 1991. – 336 с.
9. Агрономов А. Е. Лабораторные работы в органическом практикуме – 2-е изд., пер. и доп. / А. Е. Агрономов, Ю. С. Шабаров. – М., 1974. – 376 с.
10. Эгли К. Несчастные случаи при химических работах / К. Эгли, У. Руст. – Л., 1926. – 150 с.
11. Лабораторная техника органической химии. – М., 1966. – 752 с.
12. Гордон А. Спутник химика / А. Гордон, Р. Форд. – М., 1976. – 541 с.
13. Вредные химические вещества ; под ред. В. А. Филова и др. – Л., 1988–1992.
14. Неотложная помощь при острых отравлениях : справочник по токсикологии ; под ред. С. Н. Голикова. – М., 1978.

15. Справочник по профессиональной патологии ; под ред. Л. И. Грацианской, В. Е. Ковшило. – 3-е изд. – Л., 1981. – 376 с.
16. Siitig M. Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens. – Park Ridge: Noyes Data Corporation, 1985. – 950 p.
17. Основи охорони праці : підручник / ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – 2-ге вид., доп. та пер. – К. : Основа, 2006. – 448 с.
18. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник / В. Ц. Жидецький. – Л., 2005. – 319 с.
19. Москальова В. М. Основи охорони праці : підручник / В. М. Москальова – К., 2005. – 672 с.
20. A Microscale Approach to Organic Laboratory Techniques. – 6th ed. / D. L. Pavia et al. – Brooks Cole, 2017. – 1034 p.
21. Experimental organic chemistry: laboratory manual / J. Isaac-García et al. – Academic Press, 2016. – 500 p.
22. Experimental Organic Chemistry: A Miniscale and Microscale Approach. – 5th ed. / J. C. Gilbert, S. F. Martin. – Brooks Cole, 2010. – 996 p.
23. Laboratory Techniques in Organic Chemistry. – 4th ed. / J. R. Mohrig, D. Alberg, G. Hofmeister, et al. – W. H. Freeman & Company, 2014 – 528 p.
24. Pirrung M. C. The Synthetic Organic Chemist's Companion / M. C. Pirrung. – Wiley-Interscience, 2007. – 215 p.
25. Zubrick J. W. The Organic Chem Lab Survival Manual: A Student's Guide to Techniques. – 9th ed. / J. W. Zubrick. – Wiley, 2012. – 368 p.
26. Coyne G. S. The Laboratory Companion: A Practical Guide to Materials, Equipment, and Technique. – revised ed. / Gary S. Coyne. – Wiley-Interscience, 2005. – 549 p.
27. Leonard J. Advanced Practical Organic Chemistry. – 3rd ed. / John Leonard, Barry Lygo, Garry Procter. – CRC Press, 2013. – 356 p.
28. Bretherick L. Bretherick's handbook of reactive chemical hazards. – 8th ed. / ed. Peter G. Urban, Martin J. Pitt. – Elsevier, 2017. – 1520 p.
29. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 7th ed. / Wiley-VCH. – Wiley-VCH, 2011. – 29456 p.

30. CRC handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data. – 97th ed. / ed. W. M. Haynes, David R. Lide, Thomas J. Bruno. – CRC Press, 2016. – 2643 p.
31. Pohanish R. P. Sittig's handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogens. – 7th ed. / Richard P. Pohanish. – William Andrew, Elsevier, 2017. – 3415 p.
32. Janicak C. A. Fundamentals of fire protection for the safety professional / C. A. Janicak, L. H. Ferguson – Scarecrow, 2005. – 341 p.
33. Burke R. Fire Protection: Systems and Response / Robert Burke. – CRC Press, 2007. – 312 p.
34. NFPA 10 – Standard for Portable Fire Extinguishers – 2013 Edition / National Fire Protection Association. – NFPA, 2013. – 83 p.
35. Cadick J. Electrical Safety Handbook 3E / John Cadick, Mary Capelli-Schellpfeffer, Dennis Neitzel. – McGraw Hill Professional, 2005. – 560 p.
36. Mitolo M. Electrical Safety of Low-Voltage Systems / Massimo Mitolo. – McGraw-Hill Education, 2009. – 304 p.
37. Sutherland P. E. Principles of Electrical Safety / Peter E. Sutherland. – John Wiley & Sons, 2014. – 416 p.
38. Handbook of Compressed Gases. – 4th ed. / Compressed Gas Association. – Springer, 1999. – 720 p.
39. Scott Specialty Gases. Design and Safety Handbook. – URL: https://industry.airliquide.us/sites/activity_us/files/2015/10/08/design_and_safety_handbook_3001.5.pdf
40. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. – К., 2007.
41. ДСТУ 2273:2006. Система стандартів безпеки праці. Пожежна техніка. Терміни та визначення основних понять. – К., 2007.
42. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. – К., 2020.
43. ДСТУ EN 2:2014 Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). – К., 2014.
44. ДСТУ 3675-98. Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. – К., 1999.

45. ДСТУ EN 15004-1:2014 Стаціонарні системи пожежогасіння. Системи газового пожежогасіння. Частина 1. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 15004-1:2008, IDT)
46. ДСТУ EN 3-7:2014 Вогнегасники переносні. Частина 7. Характеристики, вимоги до робочих параметрів і методи випробувань (EN 3-7:2004+A1:2007, IDT). – К., 2016.

Додатки

Додаток 2

Таблиця 2.1

Піктограми небезпеки й елементи маркування УГС

Маркування згідно з УГС				Маркування згідно з Рекомендаціями ООН щодо транспорту небезпечних речовин	Європейський стандарт піктограми небезпеки для маркування ¹⁶
Кодування	Піктограма	Сигналь- не слово	Класи небезпечних речовин, що маркуються такою піктограмою	Класи небезпечних речовин	Піктограма

¹⁶ Європейський стандарт піктограм небезпеки для маркування, що відповідає піктограмам маркування згідно з УГС.

GHS01: Вибухо- небезпечно		Небезпека	Нестабільні вибухонебезпечні речовини, вибухонебезпечні суміші та продукти, речовини й суміші, що схильні до саморозкладу, органічні пероксиди	 Категорія 1  Категорія 5.2	
GHS02: Вогне- небезпечно/ Легко- займистий		Небезпека / Увага	Займисті, самореактивні, пірофорні речовини й суміші, а також ті, що реагують із водою, органічні пероксиди	 Категорія 2.1  Категорія 4.2  Категорія 3  Категорія 4.3	 вогнебезпечно вкрай вогнебезпечно

				 	
				Категорія 4.1	Категорія 5.2
GHS03: Окисник		Небезпека	Речовини й суміші, що викликають або підтримують горіння		
				Категорія 5.1	
GHS04: Стиснений газ		Увага	Гази під тиском, екранлені, зріджені, охолоджені або розчинені гази		
				Категорія 2.2	
GHS05: Корозійна дія		Небезпека / Увага	Речовини й суміші, що мають корозійний вплив на метали, шкіру та очі		
				Категорія 8	

GHS06: Токсично		Небезпека	Отруйні речовини й суміші	 Категорія 6.1  Категорія 2.3	 ТОКСИЧНО  вкрай токсично
GHS07: Шкідливо		Небезпека / Увага	Цей знак привертає увагу до можливої шкідливості речовини	Немає прямої відповідності	 шкідливо  подразник
GHS08: Небезпека для здоров'я		Небезпека / Увага	Речовини й суміші, що шкодять здоров'ю		

GHS09: Небезпека для довкілля		Небезпека / Увага	Речовини й суміші, що шкодять довкіллю	 Речовини, що шкодять довкіллю	
Немає прямої відповідності				 Категорія 6.2  Категорія 7	

Таблиця 2.2

Заходи безпеки (Р-фрази, Precautionary statements)

Заходи безпеки позначаються певним кодом типу **Рхуу** (літера **Р** позначає *тип фрази (захід безпеки)*, **х** – цифра, що вказує *тип заходу безпеки*; **уу** – цифри для послідовної нумерації Р-фраз.

Типи заходів безпеки х Р-фраз поділяються на класи:

- 1 – загальні заходи безпеки
- 2 – заходи безпеки при запобіганні
- 3– заходи безпеки при реагуванні
- 4– заходи безпеки при зберіганні
- 5 – заходи безпеки при утилізації

<i>Код фрази</i>	<i>Розшифровка фрази</i>
Загальні заходи безпеки (1)	
P101	Якщо необхідна рекомендація лікаря: мати із собою упаковку продукту або маркувальний знак.
P102	Тримати в місці, недоступному для дітей.
P103	Перед використанням прочитати текст на маркувальному знаку.
Заходи безпеки при запобіганні (2)	
P201	Перед використанням отримати спеціальні інструкції.
P202	Не приступати до роботи доти, поки не прочитана і не зрозуміла інформація про заходи безпеки.
P210	Берегти від тепла/іскор/відкритого вогню/гарячих поверхонь. Не курити.
P211	Не направляти розпилену рідину на відкрите полум'я чи інші джерела загоряння.

P220	Не допускати контакту/зберігати окремо від одягу/.../горючих матеріалів.
P221	Вжити всіх запобіжних заходів із метою уникнення змішування з легкозаймистими речовинами.
P222	Не допускати контакту з повітрям.
P223	Не допускати контакту з водою.
P230	Змочувати за допомогою... (матеріал вказується виробником)
P231	Працювати з продуктом в атмосфері інертного газу.
P232	Захищати від вологи.
P233	Тримати кришку контейнера щільно закритою.
P234	Зберігати лише в контейнері заводу-виробника.
P235	Зберігати у прохолодному місці.
P240	Заземлити/Електрично з'єднати контейнер і приймальне обладнання.
P241	Використовувати вибухобезпечне електричне / вентиляційне / освітлювальне /.../обладнання.
P242	Використовувати лише прилади, що не утворюють іскор.
P243	Вживати заходів безпеки проти статичного розряду.
P244	Не допускати потрапляння в редукційні клапани жирів і олій.
P250	Берегти від подрібнення/ударів/.../тертя.
P251	Не проколювати та не спалювати після використання.
P260	Уникати вдихання пилу/димув/газу/туману/випарів/аерозолі.
P261	Уникати вдихання пилу/димув/газу/туману/випарів/аерозолі...
P262	Уникати потрапляння в очі, на шкіру чи одяг.

P263	Уникати контакту в період вагітності/грудного вигодовування.
P264	Після роботи ретельно вимити...руки/обличчя (зазначається додатково виробником)
P270	Не вживати їжу, не пити та не курити у процесі використання цього продукту.
P271	Використовувати тільки на відкритому повітрі або в добре вентильованому місці.
P272	Не виносити забруднений одяг із робочого місця.
P273	Не допускати потрапляння в довкілля.
P280	Користуватися захисними рукавичками/захисним одягом/засобами захисту очей/обличчя.
P282	Користуватися термозахисними рукавичками/засобами захисту обличчя/засобами захисту очей.
P283	Користуватися вогнестійким/вогнетривким одягом.
P284	[За недостатньої вентиляції] користуватися засобами захисту органів дихання.
P231 + P232	Працювати із продуктом в атмосфері інертного газу. Берегти від вологи.
P235 + P410	Зберігати у прохолодному місці. Берегти від сонячних променів.
Заходи безпеки при реагуванні (3) Ці заходи безпеки об'єднуються по дві чи більше фрази; перша частина фраз позначає умову, коли потрібно вжити заходи безпеки, а друга частина повідомляє про те, які заходи треба вжити. Наприклад: P306+P360 , P305+P351+P338 , P235+P410 .	
P301	Проковтнувши:
P302	Під час потрапляння на шкіру:
P303	Під час потрапляння на шкіру (або волосся):
P304	Під час вдихання:
P305	Під час потрапляння в очі:

P306	Під час потрапляння на одяг:
P308	При підозрі на можливість впливу:
P310 або P315	Негайно звернутися в токсикологічний центр або до лікаря-фахівця/...
P311 або P313	Звернутися в токсикологічний центр або до лікаря/...
P312 або P314	Звернутися в токсикологічний центр/до лікаря...у випадку поганого самопочуття.
P320	Вжити термінових спеціальних заходів першої допомоги (див. ... на цьому маркувальному знаку. Зазначається виробником).
P321	Застосування спеціальних заходів першої допомоги (див. ... на цьому маркувальному знаку).
P330	Прополоскати рот.
P331	Не викликати блювоту!
P332	У випадку подразнення шкіри:
P333	Якщо відбувається подразнення шкіри або поява висипу:
P334	Занурити руки в холодну воду/забинтувати вологою пов'язкою.
P335	Видалити продукт із поверхні шкіри.
P336	Обробити місця обмороження теплою водою. Не розтирати уражену частину шкіри.
P337	Якщо подразнення очей не проходить:
P338	Зняти контактні лінзи, якщо Ви ними користуєтеся і якщо це легко зробити. Продовжити промивання очей.

P340	Винести пацієнта на свіже повітря й забезпечити йому повний спокій у зручному для дихання положенні.
P342	За наявності респіраторних симптомів:
P351	Обережно промити водою протягом декількох хвилин.
P352	Промити великою кількістю води з милом/... (зазначається виробником)
P353	Промити шкіру водою/прийняти душ.
P360	Негайно промити забруднений одяг і шкіру великою кількістю води, потім зняти одяг.
P361	Зняти/видалити негайно увесь забруднений одяг.
P362	Зняти забруднений одяг.
P363	Випрати забруднений одяг перед подальшим використанням.
P364	І випрати перед подальшим використанням.
P370	У випадку пожежі:
P371	У випадку великої пожежі за участю великих кількостей продукту:
P372	Ризик вибуху у випадку пожежі.
P373	Не гасити пожежу у випадку поширення вогню на вибухові речовини.
P374	Гасити пожежу з достатньої відстані, дотримуючись звичайних запобіжних заходів.
P375	Гасити пожежу на відстані через наявність ризику вибуху.
P376	Зупинити витік безпечним чином.
P377	При займанні газу у випадку витоку не гасити, якщо це пов'язано з ризиком.
P378	Для гасіння використовувати... (зазначається виробником)
P380	Залишити небезпечну зону.

P381	Безпечним способом усунути всі джерела займання.
P390	Абсорбувати розливи речовини, щоб не допустити пошкодження матеріалів.
P391	Ліквідація розливу.
P301 + P310	При ковтанні: негайно звернутись за медичною допомогою/ токсикологічний центр до відповідного спеціаліста /...
P301 + P312	При ковтанні: при поганому самопочутті звернутись за медичною допомогою/ токсикологічний центр до відповідного фахівця/...
P301 + P330 + P331	При ковтанні: прополоскати рот. Не викликати блювоту.
P302 + P334	Під час потрапляння на шкіру: занурити в холодну воду/ забинтувати вологим бинтом.
P302 + P352	Під час потрапляння на шкіру: промити великою кількістю води/... (виробником зазначаються необхідні очищувальні засоби).
P303 + P361 + P353	Під час потрапляння на шкіру (або волосся): негайно зняти весь забруднений одяг, промити шкіру водою/під душем.
P304 + P312	Під час вдихання: звернутись у токсикологічний центр/до лікаря/.../при поганому самопочутті.
P304 + P340	Під час вдихання: винести потерпілого на свіже повітря та забезпечити йому повний спокій у зручному для дихання положенні.
P305 + P351 + P338	Під час потрапляння в очі: обережно промити очі водою впродовж кількох хвилин. Зняти контактні лінзи, якщо користуєтесь ними і це легко зробити. Продовжити промивання очей.

P306 + P360	Під час потрапляння на одяг: перш, ніж зняти забруднений одяг, його та шкіру треба негайно промити великою кількістю води.
P308 + P311 (або P313)	При підозрі на можливість впливу звернутися в токсикологічний центр або до лікаря/...
P308 + P313	У випадку впливу або занепокоєння: звернутися до лікаря.
P332 + P313	При подразненні шкіри: звернутися до лікаря.
P333 + P313	При подразненні шкіри або виникненні висипу: звернутися до лікаря.
P335 + P334	Видалити продукт зі шкіри за допомогою щітки та занурити в холодну воду/перев'язати вологими бинтами.
P337 + P313	Якщо подразнення очей не зникає: звернутися до лікаря.
P342 + P311	Із появою респіраторних симптомів: звернутися в токсикологічний центр або до відповідного фахівця/...
P361 + P364	Негайно зняти забруднений одяг і випрати перед подальшим використанням.
P362 + P364	Зняти забруднений одяг і випрати перед подальшим використанням.
P370 + P376	При пожежі: ліквідувати витік, якщо це можна зробити безпечно.
P370 + P378	При пожежі: для гасіння використовувати... (зазначається виробником)
P370 + P380	При пожежі: залишити небезпечну зону.
P370 + P380 + P375	При пожежі: залишити небезпечну зону. Гасити пожежу на відстані внаслідок небезпеки вибуху.
P371 + P380 + P375	У випадку великої пожежі за участю великих кількостей продукту: залишити небезпечну зону. Гасити пожежу на відстані внаслідок небезпеки вибуху.

Заходи безпеки при зберіганні (4)	
P401	Зберігати відповідно з... (виробник / інша уповноважена особа зазначає відповідні місцеві, регіональні, національні або міжнародні законодавчі акти за наявності).
P402	Зберігати в сухому місці.
P403	Зберігати в добре вентильованому місці.
P404	Зберігати в закритому/герметичному контейнері
P405	Зберігати під замком (у недоступному для сторонніх місці).
P406	Зберігати в корозійностійкому/...контейнері зі стійким внутрішнім покриттям (виробник / інша уповноважена особа зазначає відповідний матеріал упаковки).
P407	Забезпечити наявність повітряного прошарку між штабелями/піддонами.
P410	Берегти від сонячних променів.
P411	Зберігати за температур не вище...°C /...°F (виробник / інша уповноважена особа зазначає значення температури, якщо воно встановлено).
P412	Берегти від впливу температур понад 50 °C/122 °F.
P413	Зберігати безтарні вантажі в кількостях понад...кг/...фунтів за температур не вище...°C /...°F (виробник / інша уповноважена особа зазначає значення маси та температури, якщо вони встановлені).
P420	Зберігати окремо від інших матеріалів.
P422	Зберігати контейнери в...
P402 + P404	Зберігати в сухому місці у закритому/герметичному контейнері.
P403 + P233	Зберігати в добре вентильованому місці в закритому/герметичному контейнері.
P410 + P403	Берегти від сонячних променів. Зберігати в добре вентильованому місці.
P410 + P412	Берегти від сонячних променів, уникати нагрівання вище 50 °C/122 °F.

Заходи безпеки при утилізації (5)	
Заходи щодо поводження з відходами хімічної продукції та її упаковки	
P501	Видалити вміст/контейнер у... (виробник / інша уповноважена особа зазначає методи видалення відходів продукції та\або упаковки відповідно до місцевих, регіональних, національних або міжнародних законодавчих актів).
P502	Надіслати на адресу заводу-виробника/постачальника запит на інформацію з рекуперації/переробки відходів.
P503	Надіслати на адресу заводу-виробника/постачальника запит на інформацію щодо методів видалення/рекуперації/переробки відходів (виробник / інша уповноважена особа зазначає відповідні місцеві, регіональні, національні або міжнародні законодавчі акти за наявності).

Таблиця 2.3

Короткі характеристики небезпеки (H-фрази, Hazard phrase або H-phrase Safety advice concerning dangerous substances and preparations)

Стандартні фрази, що інформують про характер і ступінь небезпеки. Якщо продукт спричиняє більш ніж одну небезпеку, етикетка має містити відповідну фразу до кожної небезпеки.

Заходи небезпеки позначаються певним кодом типу **Нхуу** (літера **Н** є загальною для позначення короткої характеристики небезпеки, **х** – цифра, що вказує тип небезпеки; **уу** – цифри для послідовної нумерації конкретних видів небезпеки, обумовлених фізико-хімічними властивостями речовини.

Типи небезпеки х Н-фраз поділяються на класи:

- 2 – фізичні небезпеки
- 3 – небезпеки для здоров'я
- 4 – небезпеки для довкілля

<i>Код фрази</i>	<i>Розшифровка фрази</i>
Фізичні небезпеки (2)	
H200	Нестабільна вибухонебезпечна речовина
H201	Вибухова речовина; небезпека вибуху масою
H202	Вибухова речовина; небезпека уламків від вибуху
H203	Вибухова речовина; небезпека пожежі, вибухової хвилі або уламків
H204	Небезпека пожежі або уламків
H205	Небезпека вибуху масою під дією вогню
H206	Небезпека пожежі, вибухової хвилі або уламків; підвищена вибухонебезпечність при зменшенні вмісту флегматизатора
H207	Небезпека пожежі або уламків; підвищена вибухонебезпечність при зменшенні вмісту флегматизатора
H208	Небезпека пожежі; підвищена вибухонебезпечність при зменшенні вмісту флегматизатора
H220	Легкозаймистий газ
H221	Займистий газ
H222	Легкозаймистий аерозоль
H223	Займистий аерозоль
H224	Надзвичайно легкозаймиста рідина і пар
H225	Легкозаймиста рідина і пар
H226	Займиста рідина і пар
H227	Горюча рідина

H228	Горюча тверда речовина
H229	Балон під тиском; вибухонебезпечність під час нагрівання
H230	Може вступати у вибухову реакцію навіть за відсутності повітря
H231	Може вступати у вибухову реакцію за підвищених тиску та/або температур навіть за відсутності повітря
H232	Спонтанне самозаймання під час контакту з повітрям
H240	Нагрівання може викликати вибух
H241	Нагрівання може викликати вибух або пожежу
H242	Нагрівання може викликати пожежу
H250	Може самозайнятися під час контакту з повітрям
H251	Тенденція до самонагрівання; ризик пожежі
H252	Тенденція до самонагрівання у великих кількостях; ризик пожежі
H260	Під час контакту з водою виділяє легкозаймисті гази, що можуть самозайнятися
H261	Під час контакту з водою виділяє легкозаймисті гази
H270	Може викликати або підсилювати горіння; окисник
H271	Може викликати горіння або вибух; сильний окисник
H272	Може підсилювати горіння; окисник
H280	Містить газ під тиском; може вибухнути під час нагрівання
H281	Містить охолоджений газ; може викликати кріогенні опіки або травми
H290	Може викликати корозію металів
Небезпеки для здоров'я (3)	
H300	Смертельно при ковтанні

H301	Отруйно при ковтанні
H302	Шкідливо при ковтанні
H303	Може бути шкідливим при ковтанні
H304	Може бути смертельним при ковтанні та потраплянні в дихальні шляхи
H305	Може бути шкідливим при ковтанні та потраплянні в дихальні шляхи
H310	Смертельно при контакті зі шкірою
H311	Токсично при контакті зі шкірою
H312	Шкідливо при контакті зі шкірою
H313	Може бути шкідливим при контакті зі шкірою
H314	Викликає серйозні опіки шкіри й пошкодження очей
H315	Викликає подразнення шкіри
H316	Викликає легке подразнення шкіри
H317	Може викликати алергічну реакцію шкіри
H318	Викликає серйозні пошкодження очей
H319	Викликає серйозне подразнення очей
H320	Викликає подразнення очей
H330	Смертельно при вдиханні
H331	Отруйно при вдиханні
H332	Шкідливо при вдиханні
H333	Може бути шкідливим при вдиханні
H334	При вдиханні може викликати алергічні або астматичні симптоми, або ускладнення дихання

H335	Може викликати подразнення дихальних шляхів
H336	Може викликати сонливість або запаморочення
H340	Може викликати генетичні дефекти <i>(вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)</i>
H341	Імовірніше може викликати генетичні дефекти <i>(вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)</i>
H350	Може викликати рак <i>(вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)</i>
H351	Імовірніше може викликати рак <i>(вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)</i>
H360	Може шкодити репродуктивним функціям або плоду <i>(вказати конкретну шкоду, якщо відомо; вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)</i>
H360F	Може шкодити репродуктивним функціям
H360D	Може шкодити плоду в утробі матері
H360FD	Може шкодити репродуктивним функціям. Може шкодити плоду в утробі матері
H360Fd	Може шкодити репродуктивним функціям. Імовірніше може шкодити плоду в утробі матері
H360Df	Може шкодити плоду в утробі матері. Швидше за все, може шкодити репродуктивним функціям
H361	Імовірніше може шкодити репродуктивним функціям або плоду <i>(вказати конкретну шкоду, якщо відомо)(вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)</i>

H361f	Швидше за все, може шкодити репродуктивним функціям
H361d	Швидше за все, може шкодити плоду в утробі матері
H361fd	Швидше за все, може шкодити репродуктивним функціям. Швидше за все, може шкодити плоду в утробі матері
H362	Може зашкодити немовлятам на грудному вигодовуванні
H370	Шкідливий для органів (вказати, для яких, якщо відомо) (вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)
H371	Може бути шкідливим для органів (вказати, для яких, якщо відомо) (вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)
H372	Шкідливий для органів (вказати, для яких, якщо відомо) у разі тривалого або багаторазового впливу (вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)
H373	Може бути шкідливим для органів (вказати, для яких, якщо відомо) у разі тривалого або багаторазового впливу (вказати шлях впливу, якщо доведено, що інші шляхи впливу не викликають такої небезпеки)
H300+H310	Смертельно при ковтанні або контакті зі шкірою
H300+H330	Смертельно при ковтанні або потраплянні в дихальні шляхи
H310+H330	Смертельно при контакті зі шкірою або потраплянні в дихальні шляхи
H300+H310+H330	Смертельно при ковтанні, контакті зі шкірою або потраплянні в дихальні шляхи
H301+H311	Отруйно при ковтанні або контакті зі шкірою
H301+H331	Отруйно при ковтанні або потраплянні в дихальні шляхи
H311+H331	Отруйно при контакті зі шкірою або потраплянні в дихальні шляхи
H301+H311+H331	Отруйно при ковтанні, контакті зі шкірою або потраплянні в дихальні шляхи

H302+H312	Шкідливо при ковтанні або контакті зі шкірою
H302+H332	Шкідливо при ковтанні або потраплянні в дихальні шляхи
H312+H332	Шкідливо при контакті зі шкірою або потраплянні в дихальні шляхи
H302+H312+H332	Шкідливо при ковтанні, контакті зі шкірою або потраплянні в дихальні шляхи
H303+H313	Може бути шкідливим при ковтанні або контакті зі шкірою
H303+H333	Може бути шкідливим при ковтанні або потраплянні в дихальні шляхи
H313+H333	Може бути шкідливим при контакті зі шкірою або потраплянні в дихальні шляхи
H303+H313+H333	Може бути шкідливим при ковтанні, контакті зі шкірою або потраплянні в дихальні шляхи
H315+H320	Викликає подразнення шкіри та очей
Небезпеки для довкілля (4)	
H400	Дуже отруйно для водяних організмів
H401	Токсично для водяних організмів
H402	Шкідливо для водяних організмів
H411	Токсично для водяних організмів, із тривалими наслідками
H412	Шкідливо для водяних організмів, із тривалими наслідками
H413	Може викликати довготермінові шкідливі наслідки для водяних організмів
H420	Шкодить суспільному здоров'ю й довкіллю шляхом руйнування озонового шару у верхніх шарах атмосфери

Таблиця 2.4

Фрази ризику (R-фрази, англ. Risk Statements, R statements, R numbers, R phrases, R sentences)

Код фрази	Розшифровка фрази
Перелік R-фраз	
R1	У сухому вигляді вибухонебезпечно
R2	Ризик вибуху під час струшування, терті, дії вогню й інших діях, що можуть зумовити загоряння
R3	Надзвичайно вибухонебезпечно під час струшування, терті, дії вогню й інших діях, що можуть зумовити загоряння
R4	Утворює надзвичайно вибухонебезпечні сполуки з металами
R5	Нагрівання може спричинити вибух
R6	Вибухонебезпечно як під час контакту з повітрям, так і за його відсутності
R7	Може спричинити загоряння
R8	Контакт із горючими речовинами може спричинити загоряння
R9	Вибухонебезпечно у процесі змішування з горючими речовинами
R10	Вогненебезпечно
R11	Легкозаймистий
R12	Надзвичайно легкозаймистий
R14	Бурхливо реагує з водою
R15	Під час контакту з водою утворює надзвичайно займисті гази
R16	Вибухонебезпечно під час змішування з окисниками
R17	Самозаймається на повітрі

R18	Під час використання може утворювати вибухонебезпечні/зайmistі суміші парів із повітрям
R19	Може утворювати вибухонебезпечні пероксиди
R20	Небезпечно при вдиханні
R21	Небезпечно при потраплянні на шкіру
R22	Небезпечно при ковтанні
R23	Токсично при вдиханні
R24	Токсично при потраплянні на шкіру
R25	Токсично при ковтанні
R26	Дуже токсично при вдиханні
R27	Дуже токсично при потраплянні на шкіру
R28	Дуже токсично при ковтанні
R29	Під час контакту з водою виділяє токсичний газ
R30	Може стати легкозаймистим у процесі використання
R31	Під час контакту з кислотами виділяє токсичний газ
R32	Під час контакту з кислотами виділяє дуже токсичний газ
R33	Небезпека кумулятивних ефектів
R34	Викликає опіки
R35	Викликає сильні опіки
R36	Викликає подразнення очей
R37	Викликає подразнення органів дихання
R38	Викликає подразнення шкіри

R39	Ризик дуже серйозних незворотних ефектів
R40	Наявні деякі докази канцерогенних ефектів
R41	Ризик серйозного пошкодження очей
R42	Може викликати сенсибілізацію при вдиханні
R43	Може викликати сенсибілізацію при потраплянні на шкіру
R44	Ризик вибуху під час нагрівання в обмеженому-просторі
R45	Може викликати рак
R46	Може викликати спадкові генетичні порушення
R48	Небезпека серйозної шкоди здоров'ю за тривалого впливу
R49	Може викликати рак при вдиханні
R50	Дуже токсично для водних організмів
R51	Токсично для водних організмів
R52	Небезпечно для водних організмів
R53	Може чинити тривалу несприятливу дію на водне середовище
R54	Токсично для рослин
R55	Токсично для тварин
R56	Токсично для ґрунтових організмів
R57	Токсично для бджіл
R58	Може чинити тривалий несприятливий вплив на довкілля
R59	Небезпечно для озонового шару
R60	Може порушити репродуктивні функції
R61	Може спричинити шкоду плода/ембріона

R62	Можливий ризик порушення репродуктивних функцій
R63	Можливий ризик шкоди для плода/ембріона
R64	Може нанести шкоду дитині при грудному вигодовуванні
R65	Небезпечно: може нанести шкоду легеням при ковтанні
R66	Повторюваний вплив може викликати сухість і тріскання шкіри
R67	Пари можуть викликати сонливість і запаморочення
R68	Можливий ризик незворотних ефектів
Стандартні комбінації R-фраз	
R14/15	Вступає в бурхливу реакцію з водою з виділенням надзвичайно легкозаймистих газів
R15/29	Під час контакту з водою виділяє токсичний, надзвичайно легкозаймистий газ
R20/21	Небезпечно при вдиханні та потраплянні на шкіру
R20/21/22	Небезпечно при вдиханні, потраплянні на шкіру та ковтанні
R20/22	Небезпечно при вдиханні та ковтанні
R21/22	Небезпечно при потраплянні на шкіру та ковтанні
R23/24	Токсично при вдиханні та потраплянні на шкіру
R23/24/25	Токсично при вдиханні, потраплянні на шкіру та ковтанні
R23/25	Токсично при вдиханні та ковтанні
R24/25	Токсично при потраплянні на шкіру та ковтанні
R26/27	Дуже токсично при вдиханні та потраплянні на шкіру
R26/27/28	Дуже токсично при вдиханні, потраплянні на шкіру та ковтанні
R26/28	Дуже токсично при вдиханні та ковтанні
R27/28	Дуже токсично при потраплянні на шкіру та ковтанні

R36/37	Подразнює очі й органи дихання
R36/37/38	Подразнює очі, органи дихання та шкіру
R36/38	Подразнює очі та шкіру
R37/38	Подразнює органи дихання та шкіру
R39/23	Токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при вдиханні
R39/23/24	Токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при вдиханні та потраплянні на шкіру
R39/23/24/25	Токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при вдиханні, потраплянні на шкіру та ковтанні
R39/23/25	Токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при вдиханні та ковтанні
R39/24	Токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при потраплянні на шкіру
R39/24/25	Токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при потраплянні на шкіру та ковтанні
R39/25	Токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при ковтанні
R39/26	Дуже токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при вдиханні
R39/26/27	Дуже токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при вдиханні та потраплянні на шкіру
R39/26/27/28	Дуже токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при вдиханні, потраплянні на шкіру та ковтанні
R39/26/28	Дуже токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при вдиханні та ковтанні

R39/27	Дуже токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при потраплянні на шкіру
R39/27/28	Дуже токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при потраплянні на шкіру та ковтанні
R39/28	Дуже токсично: небезпека дуже серйозних незворотних наслідків при ковтанні
R42/43	Може спричинити сенсibiliзацію при вдиханні та контакті зі шкірою
R48/20	Шкідливо: може нанести суттєву шкоду здоров'ю при тривалому вдиханні
R48/20/21	Шкідливо: може нанести суттєву шкоду здоров'ю при тривалому вдиханні й контакті зі шкірою
R48/20/21/22	Шкідливо: може нанести суттєву шкоду здоров'ю при тривалому вдиханні й контакті зі шкірою та ковтанні
R48/20/22	Шкідливо: може нанести суттєву шкоду здоров'ю при тривалому вдиханні й ковтанні
R48/21	Шкідливо: може нанести суттєву шкоду здоров'ю при тривалому контакті зі шкірою
R48/21/22	Шкідливо: може нанести суттєву шкоду здоров'ю при тривалому контакті зі шкірою та ковтанні
R48/22	Шкідливо: може нанести суттєву шкоду здоров'ю при ковтанні
R48/23	Токсично: небезпека суттєвої шкоди здоров'ю при тривалому вдиханні
R48/23/24	Токсично: небезпека суттєвої шкоди здоров'ю при тривалому вдиханні й контакті зі шкірою
R48/23/24/25	Токсично: небезпека суттєвої шкоди здоров'ю при тривалому вдиханні, контакті зі шкірою та ковтанні
R48/23/25	Токсично: небезпека суттєвої шкоди здоров'ю при тривалому вдиханні та ковтанні
R48/24	Токсично: небезпека суттєвої шкоди здоров'ю при тривалому контакті зі шкірою

R48/24/25	Токсично: небезпека суттєвої шкоди здоров'ю при тривалому контакті зі шкірою та ковтанні
R48/25	Токсично: небезпека суттєвої шкоди здоров'ю при тривалому контакті при ковтанні
R50/53	Дуже токсично для водних організмів, може спричиняти тривалі несприятливі зміни у водному середовищі
R51/53	Токсично для водних організмів, може спричиняти тривалі несприятливі зміни в водному середовищі
R52/53	Небезпечно для водних організмів, може спричиняти тривалі несприятливі зміни у водному середовищі
R68/20	Шкідливо: можливі незворотні наслідки при вдиханні
R68/20/21	Шкідливо: можливі незворотні наслідки при вдиханні та потраплянні на шкіру
R68/20/21/22	Шкідливо: можливі незворотні наслідки при вдиханні, потраплянні на шкіру та ковтанні
R68/20/22	Шкідливо: можливі незворотні наслідки при вдиханні та ковтанні
R68/21	Шкідливо: можливі незворотні наслідки при потраплянні на шкіру
R68/21/22	Шкідливо: можливі незворотні наслідки при потраплянні на шкіру та ковтанні
R68/22	Шкідливо: можливі незворотні наслідки при ковтанні

Таблиця 2.5

Фрази безпеки (англ. S-фрази; англ. Safety Statements, S statements, S numbers, S phrases, S sentences)

<i>Код фрази</i>	<i>Розшифровка фрази</i>
Перелік S-фраз	
S1	Зберігати в зачинених місцях
S2	Зберігати в недоступному місці для дітей
S3	Зберігати у прохолодному місці
S4	Зберігати поза житловими приміщеннями
S5	Зберігати вміст під ... (відповідну рідину вказує виробник)
S6	Зберігати під ... (інертний газ вказує виробник)
S7	Зберігати в щільно зачиненій тарі
S8	Зберігати у сухій тарі
S9	Зберігати тару в добре провітрюваному приміщенні
S12	Зберігати в незапечатаному стані
S13	Зберігати подалі від їжі, напоїв і корму для тварин
S14	Зберігати подалі від ... (<i>несумісні речовини вказує виробник</i>)
S15	Зберігати подалі від тепла
S16	Зберігати подалі від джерел вогню – не курити
S17	Зберігати подалі від горючих матеріалів
S18	Поводитись і відкривати обережно
S20	Під час використання не їсти й не пити

S21	Під час використання не курити
S22	Не вдихати пил
S23	Не вдихати газ/пару/аерозолі (відповідне поняття вказує виробник)
S24	Уникати потрапляння на шкіру
S25	Уникати потрапляння в очі
S26	У випадку потрапляння в очі, негайно промити очі великою кількістю води та звернутися за допомогою до медичних працівників
S27	Негайно зняти увесь забруднений одяг
S28	У випадку потрапляння на шкіру, негайно промити великою кількістю ... (речовину вказує виробник)
S29	Не зливати у водогін і каналізацію
S30	У жодному разі не додавати воду до цієї речовини
S33	Вжити запобіжних заходів проти статичних розрядів
S35	Ця речовина та її тара повинні утилізуватися безпечно
S36	Одягати відповідний захисний одяг
S37	Надягати відповідні захисні рукавиці
S38	У разі недостатньої вентиляції одягати відповідне респіраторне оснащення
S39	Надягати захисні засоби для очей/обличчя
S40	Для миття підлог та інших об'єктів, що забруднені цією речовиною, використовувати (вказує виробник)
S41	У випадку пожежі і/або вибуху не вдихати дим

S42	Під час фумігації/розпилювання одягати відповідне респіраторне оснащення (вказує виробник)
S43	У випадку пожежі використовувати ... (вказується тип обладнання для пожежогасіння. Якщо вода збільшує ризик, додати "У жодному разі не використовувати воду")
S45	У нещасних випадках або при занедужанні, негайно звернутися за медичною допомогою (якщо можливо, із зазначенням відповідної етикетки)
S46	У випадку проковтування, негайно звернутися за медичною допомогою та показати цю тару або етикетку
S47	Зберігати за температур, що не перевищують ... °C (вказує виробник)
S48	Зберігати зволуженим ... (відповідну речовину вказує виробник)
S49	Зберігати лише в оригінальній тарі
S50	Не змішувати з ... (вказує виробник)
S51	Використовувати тільки в добре провітрюваних приміщеннях
S52	Не рекомендується використання всередині приміщень на великих площах
S53	Уникати контакту – отримати особливі інструкції перед використанням
S56	Утилізувати цю речовину та її тару в місцях збирання небезпечних речовин або спеціального сміття
S57	Використовувати відповідну тару, щоб уникнути забруднення довкілля
S59	Звернутися до виробника/постачальника за інформацією про відновлення й утилізацію
S60	Цю речовину та її тару треба утилізувати як небезпечні відходи
S61	Уникати потрапляння в довкілля. Дивіться спеціальні інструкції/інформацію з безпеки
S62	У випадку проковтування не викликати блювання: негайно звернутися за медичною допомогою та показати цю упаковку або етикетку

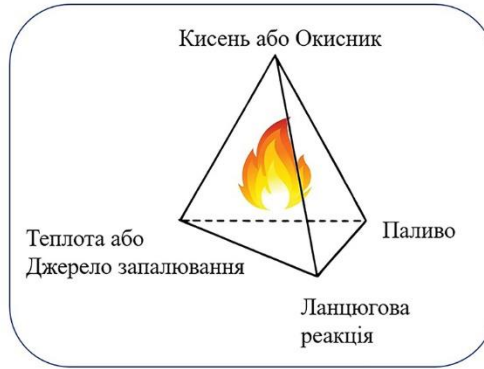
S63	У разі нещасного випадку після вдихання: вивести постраждалого на свіже повітря та дати спокій на деякий час
S64	У випадку проковтування промити рот водою (тільки якщо постраждалий у свідомому стані)
Стандартні комбінації S-фраз	
S1/2	Зберігати в зачинених місцях і в недоступності для дітей
S3/7	Зберігати у прохолодному місці в щільно закритій тарі
S3/7/9	Зберігати у прохолодному, добре провітрюваному місці в щільно закритій тарі
S3/9/14	Зберігати у прохолодному, добре провітрюваному місці подалі від ... (несумісні речовини вказує виробник)
S3/9/14/49	Зберігати лише в оригінальній тарі у прохолодному, добре провітрюваному місці подалі від ... (несумісні речовини вказує виробник)
S3/9/49	Зберігати лише в оригінальній тарі у прохолодному, добре провітрюваному місці
S3/14	Зберігати у прохолодному місці подалі від ... (несумісні речовини вказує виробник)
S7/8	Зберігати у щільно закритій і сухій тарі
S7/9	Зберігати у щільно закритій тарі в добре провітрюваному місці
S7/47	Зберігати у щільно закритій тарі за температур, що не перевищують ... °C (вказує виробник)
S20/21	Під час використання не їсти, не пити й не курити
S24/25	Уникати потрапляння на шкіру та в очі
S27/28	У випадку потрапляння на шкіру, негайно зняти увесь заражений одяг і промити постраждале місце великою кількістю ... (вказує виробник)
S29/35	Не зливати у водогін і каналізацію; утилізувати цю речовину та її тару безпечно

S29/56	Не зливати у водогін і каналізацію; утилізувати цю речовину та її тару в місцях збирання небезпечних речовин або спеціального сміття
S36/37	Одягати відповідний захисний одяг і рукавиці
S36/37/39	Одягати відповідний захисний одяг, рукавиці й захисні засоби для очей/обличчя
S36/39	Одягати відповідний захисний одяг і захисні засоби для очей/обличчя
S37/39	Одягати відповідні захисні рукавиці й захисні засоби для очей/обличчя
S47/49	Зберігати лише в оригінальній тарі за температур, що не перевищують ... °C (вказує виробник)

Додаток 4



Вогнегасник
Вуглекислотний



Вогнегасник
Порошковий ABC



Вогнегасник
хладоновий



Пожежне
покривало



Вогнегасник
порошковий D

Рис. 4.10а. Первинні засоби пожежогасіння



пожежний кран-комплект (ПК)



ящики з піском



пожежний інвентар (відра, лопати, багри, сокири)

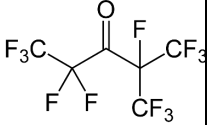
Рис. 4.106. Первинні засоби пожежогасіння



Рис. 4.11. Вогнегасники призначені для використання на території України, а також їхні закордонні аналоги

Таблиця 4.6

Газові вогнегасні речовини дозволені до використання в Україні, їхні характеристики та вплив на довкілля

Вогнегас на речовина	Торгова марка	Назва	Формула	Т _{кип.} , °С	Тиск насичен ої пари, кПа	ODP ¹	GWP ² (100 років)	Час житт я в атм., роки
CF ₃ I *	Triodide	Трифторйодметан	CF ₃ I	-22.5	541	0,000 1	0,4 ¹	0,005
FK-5-1-12	Novec 1230	Додекафтор-2-метилпентан-3-он		49	40,4	0	1	0,01
HCFC Суміш А *	NAF-S-III							
HCFC-123 *		2,2-Дихлор-1,1,1-трифторетан	CHCl ₂ CF ₃	27,8	89,3	0,055	1700	11,9
HCFC-22 *		Хлордифторметан	CHClF ₂	-40.7	908	0,022	620	6,1

HCFC-124 *		1-Хлор-1,2,2,2-тетрафторэтан	CHClF_3	-12,1	385	0,02	120	1,4
HFC-134a		1,1,1,2-тетрафторэтан	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	-26,3	666	0	1300	14
HFC-125	FE-25	1,1,1,2,2-Пентафторэтан	CF_3CHF_2	-48,5	1414	0	3400	29
HFC-227ea	FM-200	1,1,1,2,3,3,3-Гептафторпропан	$\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$	— 16,4	455	0	3500	33
HFC-23	Trifluoromethane (R23)	Трифторметан	CHF_3	-82,1	4380	0	12000	33
HFC-236fa	FE-36	1,1,1,3,3,3-Гексафторпропан	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	-1,4	270	0	9400	220
IG-01	Argon	Аргон	Ar	— 185,8		0	0	
IG-100	Nitrogen	Азот	N_2	— 195,8		0	0	
IG-55	Argonite	Азот (50 %), Аргон (50%)	N_2, Ar			0	0	
IG-541	Inergen	Азот (52 %), Аргон (40 %)	$\text{N}_2, \text{Ar}, \text{CO}_2$			0	0	

		Діоксид вуглецю (8 %)						
Галон 2402 **	Halon 2402 R-114B2	1,2- Дибромотетрафторета н	CF ₂ BrCF ₂ Br	47,3	47	6	1640	20
Галон 1301 **	Halon 1301, R-13B1, BTM	Бромотрифторметан	CBrF ₃	-57,7	1434	10	6900	65
Галон 1211 **	Halon 1211, F-12B1, BCF	Бромохлородифторме тан	CF ₂ ClBr	-3,7	276	3	1890	16
Діоксид вуглецю	Carbon dioxide	Діоксид вуглецю	CO ₂	-78,5 (субл.)	5730	0	1	

¹ Ozone depletion potential (ODP), озоноруйнівний потенціал – здатність сполук до руйнування озонового шару. За стандартну сполуку обрано трихлорфторметан CFC₁₃ із значенням ODP = 1.

² Global warming potential (GWP), потенціал глобального потепління – коефіцієнт впливу різних парникових газів на глобальне потепління за певний проміжок порівняно з еталонним газом CO₂, у якого GWP=1.

* заборонений із 2030 р. (згідно з Монреальським протоколом).

** заборонений у більшості країн світу, в Україні заборонений із 2030 р. (згідно з Монреальським протоколом).

Аварійний душ



Рис. 4.12. Аварійний душ і система для промивання очей

Додаток 5

Вплив електричного струму на організм людини

Логарифмічний графік впливу змінного струму I (мА) тривалістю T (мс), що проходить від лівої руки до ніг, за даними публікації [Yang Q., Wang Z., Zhu L., Zou D., Guo H. Safety analysis of live working operators under zero potential // E3S Web Conf. / ed. Malik O. P. – 2020. – Vol. 152. – P. 03011].

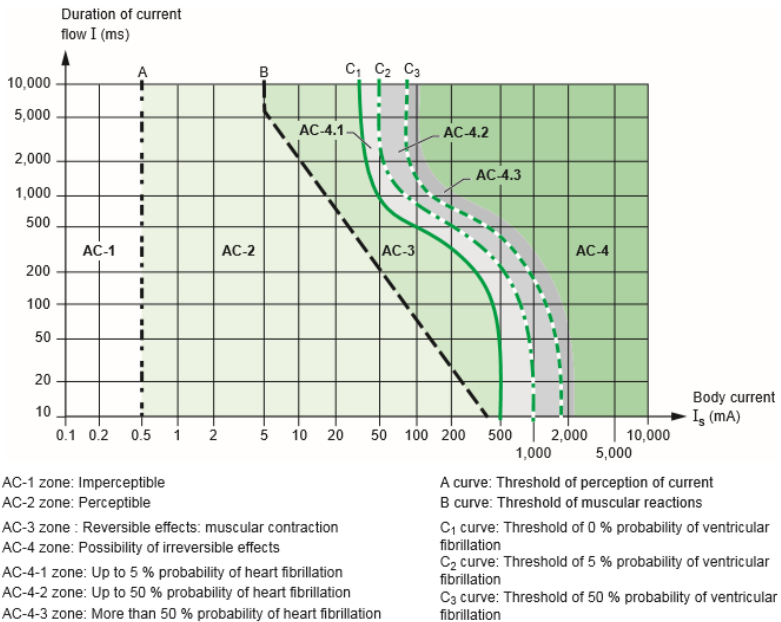


Рис. 5.3. Вплив електричного струму на організм людини

AC-1: непомітний.

AC-2: помітний, але без м'язової реакції.

AC-3: скорочення м'язів зі зворотними ефектами.

AC-4: можливі незворотні ефекти (параліч дихання, серця).

AC-4.1: до 5 % імовірності фібриляції шлуночків.

AC-4.2: (5–50) % імовірність фібриляції.

AC-4.3: більше 50 % імовірності фібриляції.

Напруга дотику та кроку

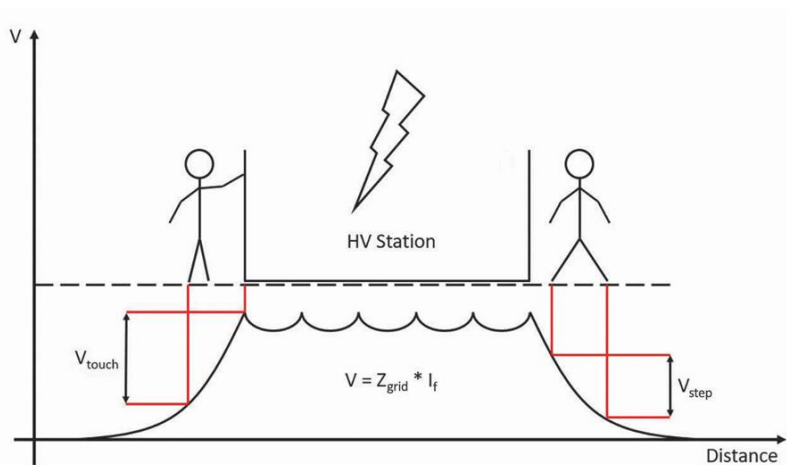
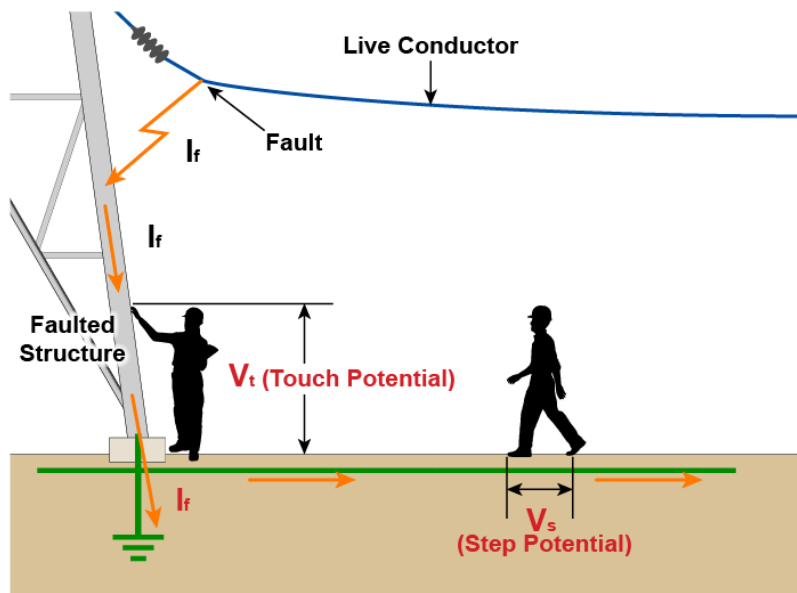


Рис. 5.4. Напруга дотику та кроку

Додаток 8

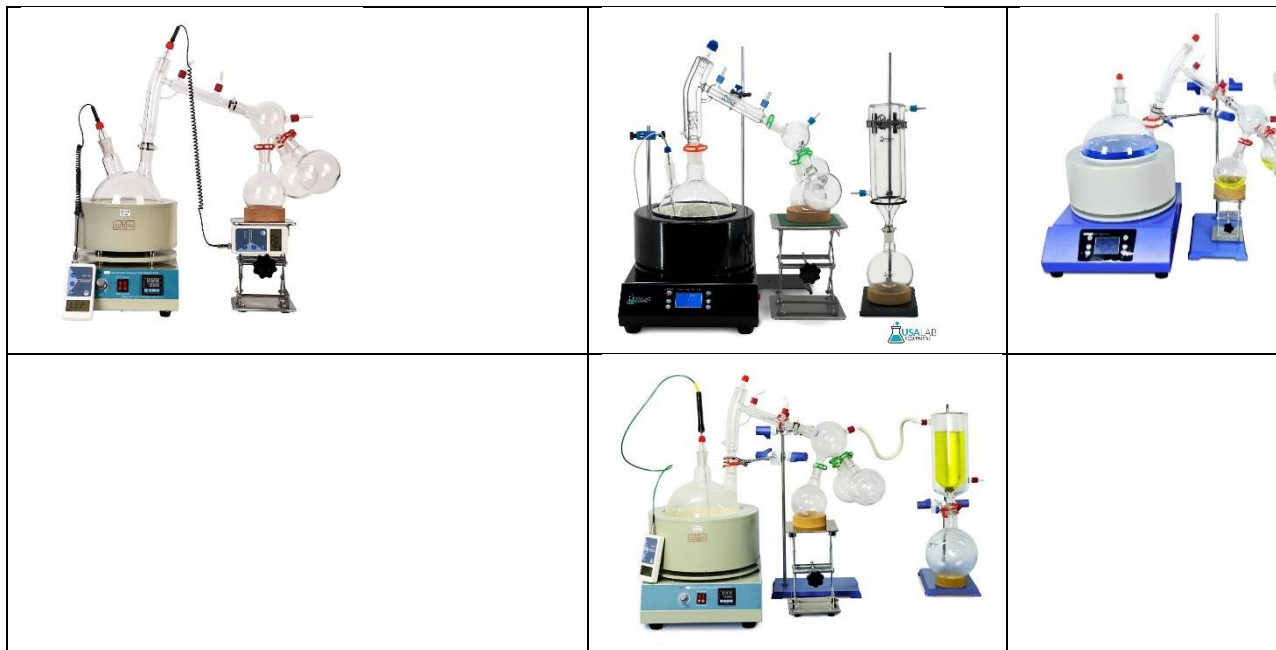


Рис. 8.6. Варіанти збирання вакуумних ліній

Додаток 9

Таблиця 9.1

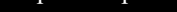
Одиниці вимірювання тиску

	1 Па	1 бар	1 ат	1 атм	1 мм рт. ст.	1 м вод. ст.	1 psi
Паскаль (Pa, Па)	1 Н/м ²	10 ⁵	98066,5	101325	133,322	9806,65	6894,76
Бар (bar, бар)	10 ⁻⁵	1 · 10 ⁶ дин/с м ²	0,980665	1,01325	1,3332 · 10 ⁻³	9,80665 · 10 ⁻²	68,948 · 10 ⁻³
Технічна атмосфера (at, ат)	10,197 · 10 ⁻⁶	1,0197	1 кгс/с м ²	1,033	1,3595 · 10 ⁻³	0,1	70,307 · 10 ⁻³
Фізична атмосфера (atm, атм)	9,8692 · 10 ⁻⁶	0,98692	0,96784	1 атм	1,3158 · 10 ⁻³	0,096784	68,046 · 10 ⁻³
Міліметр ртутного стовпа (мм рт. ст., mm Hg, Torr, торр)	7,5006 · 10 ⁻³	750,06	735,56	760	1 мм рт. ст. .	73,556	51,715
Метр водяного стовпа (м вод. ст., m H₂O)	1,0197 · 10 ⁻⁴	10,197	10	10,33	13,595 · 10 ⁻³	1 м вод. ст.	0,70307
Фунт-сила на кв. дюйм (psi)	145,04 · 10 ⁻⁶	14,504	14,223	14,696	19,337 · 10 ⁻³	1,4223	1 lbf/in ²

Розпізнавальне фарбування та маркування балонів

Таблиця 9.2

Розпізнавальне фарбування та маркування балонів для зберігання і транспортування газів

Назва газу	Колір балона	Колір напису	Колір смуги	Приклад	Допустимий тиск газу в балоні, МПа	Стан газу в балоні	Напрямок різьби штуцера
Азот	Чорний	Жовтий	Коричневий	Азот 	15	Стиснений	Права
Аміак	Жовтий	Чорний	—	Аміак 	2	Зріджений	Ліва
Аргон сирий	Чорний	Білий	Білий	Аргон сирий 	15	Стиснений	Права
Аргон технічний	Чорний	Синій	Синій	Аргон технічний 	15	Стиснений	Права
Аргон чистий	Сірий	Зелений	Зелений	Аргон чистий 	15	Стиснений	Права
Ацетилен	Білий	Червоний	—	Ацетилен 	—	Розчинений	—
Бутилен	Червоний	Жовтий	Чорний	Бутилен 	0,65	Зріджений	Ліва

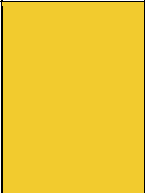
Водень	Темно-зелений	Червоний	–	Водень	15	Стиснений	Ліва
Вуглекислота	Чорний	Жовтий	–	Вуглекислота	12,5	Зріджений	Права
Гелій	Коричневий	Білий	–	Гелій	15	Стиснений	Права
Етилен	Фіолетовий	Червоний	–	Етилен	15	Стиснений	Ліва
Закис азоту	Сірий	Чорний	–	Закис азоту		Зріджений	Права
Кисень	Блакитний	Чорний	–	Кисень	15	Стиснений	Права
Сірководень	Білий	Червоний	Червоний	Сірководень	0,8	Зріджений	Ліва
Сірчистий ангідрид (SO ₂)	Чорний	Білий	Жовтий	Сірчистий ангідрид	0,6	Зріджений	Права
Стиснене повітря	Чорний	Білий	–	Стиснене повітря	15	Стиснений	Права
Фосген	Захисний	Чорний	Червоний	Фосген	2	Зріджений	Права
Фреон-11	Срібний	Чорний	Синій	Фреон-11	2	Зріджений	Права

Фреон-12	Срібний	Чорний	–	Фреон-12	2	Зріджений	Права
Фреон-13	Срібний	Чорний	2 червоні	Фреон-13	6	Зріджений	Права
Фреон-22 (Хладон R22)	Срібний	Чорний	2 жовті	Фреон-22	2	Зріджений	Права
Хладон R134a	Білий	Чорний	–	Хладон R134a		Зріджений	Права
Хлор	Захисний	Чорний	Зелений	Хлор	2	Зріджений	Права
Циклопропан	Оранжевий	Чорний	–	Циклопропан		Зріджений	Ліва
Горючі гази: Метан Етан Пропан Бутан	Червоний	Білий	–	«Газ»	15 10 1.7 0,8	стиснений зріджений зріджений зріджений	Ліва
Негорючі гази (Неон, Криптон, Ксенон)	Чорний	Жовтий	–	«Газ»		Стиснений	Права

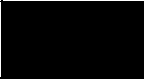
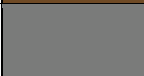
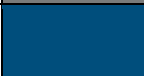
Таблиця 9.3

*Розпізнавальне фарбування та маркування газових балонів відповідно до EN 1089-3**

Основні кольори

Газ	Колір балона RAL	Приклад
Отруйний і / або корозійний (аміак, хлор, фтор, арсин, монооксид вуглецю, сірчистий ангідрид)	Жовтий RAL 1018	
Легкозаймистий (водень, метан, етилен)	Червоний RAL 3000	
Окисник (оксид азоту, кисневмісні суміші)	Блакитний RAL 5012	
Інертний, задушливий (неон, криптон, ксенон)	Світло-зелений RAL 6018	

Спеціальні кольори

Газ	Колір балона RAL	Приклад
Азот	Чорний RAL 9005	
Аргон	Темно-зелений RAL 6001	
Ацетилен	Темно-бордовий RAL 3007	
Гелій	Коричневий RAL 8008	
Діоксид вуглецю	Сірий RAL 7037	
Закис азоту	Темно-синій RAL 5010	
Кисень	Білий RAL 9010	
Кисень для дихання	Зелений RAL 6035	

Властивості кисню

За нормального тиску й нормальної температури кисень – прозорий газ без кольору, запаху і смаку. Він не горить, але активно підтримує горіння. За 0 °С і тиску 760 мм рт. ст. 1 м³ кисню важить 1,43 кг. Під час охолодження до температури –183° С і нормального атмосферного тиску кисень перетворюється у прозору рідину блакитного кольору, яка проявляє парамагнітні властивості; температура плавлення становить –218° С. Один літр рідкого кисню важить 1,144 кг і під час випаровування дає близько 800 л газу.

Кисень – потужний окисник, що реагує з майже всіма елементами, окрім золота й інертних газів. Стиснутий кисень (понад **30 кг/см²**) під час контакту з маслом і жирами миттєво їх окиснює з виділенням великої кількості тепла, яке сприяє запалення масла або жиру й може призвести до вибуху. Особливо активно кисень реагує з металами.

Існує кілька способів отримання кисню. Найбільш поширеним і дешевим є спосіб отримання кисню з атмосферного повітря методом глибокого охолодження. Атмосферне повітря є основним джерелом отримання технічного кисню. Повітря містить 78 % азоту, 21 % кисню і 1 % аргону й інших домішок. Зріджене повітря розділяють на кисень і азот. Спосіб поділу заснований на тому, що рідкий азот і кисень киплять і випаровуються за різної температури: азот за температури –196 °С, а кисень за температури –183 °С.

Також, здійснюють транспортування рідкого кисню, що є набагато дешевше й безпечніше порівняно з газоподібним. Рідкий кисень зберігається і транспортується у спеціальних посудинах – танках.

Властивості ацетилену

Хімічно чистий ацетилен C₂H₂ є безбарвним горючим газом зі слабким ефірним запахом і злегка солодкуватим смаком, легший за повітря. Питома вага ацетилену за 0 °С і 760 мм рт. ст. 1,17 кг/м³.

Основним промисловим способом отримання ацетилену є взаємодія карбиду кальцію (CaC_2) із водою. Технічний ацетилен має різкий неприємний запах і є шкідливим для організму людини, унаслідок присутності в ньому токсичних домішок (сірководню, аміаку, фосфіну й арсину), які надають йому виразного часникового запаху.

При згорянні 1 г ацетилену виділяється 311 ккал/моль, що майже не відрізняється за кількістю тепла при згорянні етану (373 ккал/моль). Однак мала теплоємністю продуктів згорання ацетилену (утворюється мало води) забезпечує високу температуру полум'я. Ацетилен при згорянні в суміші з чистим киснем дає полум'я з температурою 3050–3150 °С, а при згорянні в суміші з повітрям 2350 °С. Ацетилен самозаймається за температури 335 °С, суміш ацетилену з киснем запалюється за температури 297–306 °С, з повітрям – за 305–470 °С.

Найбільша небезпека пов'язана з його термодинамічною нестабільністю, особливо, коли він перебуває під тиском. Ендотермічна природа ацетилену (–55 ккал/моль) обумовлює його вибуховість під час стиснення. За тиску понад 2 атм ацетилен у значних обсягах набуває властивостей вибухового газу. За таких умов ацетилен може вступати як у реакції розкладу з утворенням карбону та водню, так в екзотермічні реакції за механізмом приєднання, утворюючи ряд продуктів, зазвичай бензол та / або вінілацетилен. Водночас температура адіабатично сягає 2800–3100 °С.

Для стабілізації ацетилен розчиняють в органічному розчиннику, що диспергований у пористій масі, яка повністю заповнює газовий балон. Ацетон і диметилформамід (ДМФА) є кращими розчинниками для ацетилену в газових балонах. Перевага ДМФА – низький тиск насиченої пари, що призводить до зниження втрат розчинника під час розрядження ацетиленового балона. Недоліком є його вища токсичність. Розчинність ацетилену в ацетоні та ДМФА підвищується майже прямо пропорційно тиску. Наприклад, за 20 °С і 1.013 бар розчинність ацетилену в ацетоні становить 27.9 г/кг, для ДМФА – 51 г/кг. За 20.26 бар розчинність збільшується до 689,0 і 628,0 г для ацетону та ДМФА відповідно. Розчинність ацетилену в

ацетоні залежить від температури: із підвищенням температури розчинність зменшується, а зі зниженням різко зростає.

Загальний тиск ацетилену в балоні, що містить ацетон, залежить від співвідношення ацетилен : ацетон і температури як показано на рис. 9.9 і в табл. 9.5 [Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry]. Номінальний тиск у балоні для ацетилену – 19 атм за температури 20 °С. Тиск в ацетиленовому балоні величина довідкова, тому що кількість газу визначається лише зважуванням.

Таблиця 9.5

Загальний тиск ацетилену в балоні, що містить ацетон

Температура, °С	Тиск, атм
-5	13,4
0	14,0
+5	15,0
+10	16,5
+15	18,0
+20	19,0
+25	21,5
+30	23,5
+35	26,0
+40	30,0

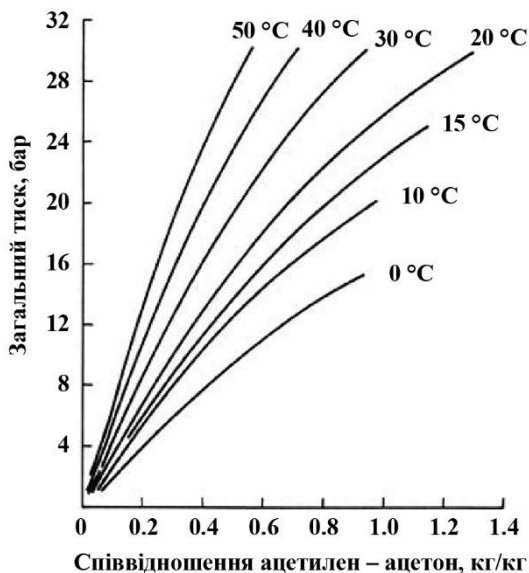


Рис. 9.9. Загальний тиск ацетилену в балоні, що містить ацетон

Суміші ацетилену з повітрям і киснем вибухові в широких межах. За атмосферного тиску ацетилено-киснева суміш із вмістом ацетилену від 2,3 до 93 % вибухає від електричної іскри, полум'я, сильного місцевого нагрівання; за аналогічних умов суміш ацетилену з повітрям вибухає при вмісті в ній ацетилену від 2,2 до 80,7 %. Водночас температура досягає 3000 °C, тиск збільшується більш ніж у 10 разів, а швидкість поширення вибухової хвилі досягає 3000 м/с. Унаслідок тривалого контакту ацетилену зі сріблом або міддю утворюється *ацетиленіди срібла або міді*, що вибухають під час підвищення температури або ударі. Тому під час виготовлення ацетиленової апаратури й арматури заборонено застосування срібних припоїв і червоної міді в чистому вигляді. Допускаються лише технічні мідні сплави, що містять не більше 70 % міді. Також, особливо ретельно потрібно стежити за щільністю всіх ацетиленових приладів, трубопроводів та ін.

Вибух ацетилену здатний викликати значні руйнування і важкі нещасні випадки (!): під час вибуху 1 кг ацетилену

виділяється приблизно вдвічі більше тепла, ніж при вибуху 1 кг тротилу і приблизно в 1,5 рази більше, ніж при вибуху 1 кг нітрогліцерину.

Спеціальні ручні візки для транспортування балонів



Перелік таблиць

- Таблиця 2.1. Піктограми небезпеки та елементи маркування УГС.
- Таблиця 2.2. Заходи безпеки (Р-фрази, Precautionary statements).
- Таблиця 2.3. Короткі характеристики небезпеки (Н-фрази, Hazard phrase або H-phrase Safety advice concerning dangerous substances and preparations).
- Таблиця 2.4. Фрази ризику (R-фрази, англ. Risk Statements, R statements, R numbers, R phrases, R sentences).
- Таблиця 2.5. Фрази безпеки (англ. S-фрази; англ. Safety Statements, S statements, S numbers, S phrases, S sentences).
- Таблиця 2.6. Інформаційне наповнення квадрату небезпеки.
- Таблиця 3.1. Засоби першої допомоги при різних отруєннях.
- Таблиця 3.2. Токсичні газоподібні сполуки.
- Таблиця 3.3. Пари рідких і твердих речовин.
- Таблиця 4.1. Концентраційні межі поширення полум'я деяких речовин.
- Таблиця 4.2. Класи пожеж.
- Таблиця 4.3. Технічні характеристики вуглекислотних вогнегасників.
- Таблиця 4.4. Технічні характеристики окремих порошкових вогнегасників.
- Таблиця 4.5. Класи пожеж і засобів пожежогасіння.
- Таблиця 4.6. Пожежні рейтинги GHS / NFPA для окремих хлоровмісних вуглеводнів.
- Таблиця 4.7. Газові вогнегасні речовини дозволені до використання в Україні, їхні характеристики та вплив на довкілля.
- Таблиця 5.1. Вплив електричного струму на організм людини.
- Таблиця 5.2. Порогові значення електричного струму.
- Таблиця 6.1. Легкоплавкі сплави.
- Таблиця 7.1. Температура кипіння деяких газів.
- Таблиця 7.2. Охолоджувальні суміші на основі органічних розчинників і рідкого азоту або сухого льоду.
- Таблиця 7.3. Охолоджувальні суміші на основі неорганічних солей і льоду.

- Таблиця 8.1. Температури охолоджувальних сумішей на основі твердого діоксиду вуглецю з різними рідинами.
- Таблиця 8.2. Характеристики розчинників.
- Таблиця 9.1. Одиниці вимірювання тиску.
- Таблиця 9.2. Розпізнавальне фарбування та маркування балонів для зберігання і транспортування газів.
- Таблиця 9.3. Розпізнавальне фарбування та маркування газових балонів відповідно до EN 1089-3.
- Таблиця 9.4. Пружність насиченої пари хлору і фосгену.
- Таблиця 10.1. Характеристики найбільш вживаних легкозаймистих сполук.

Зміст

Вступ	3
1.1. Загальні правила роботи та поведінки в хімічній лабораторії.....	4
1.2. Запобігання та профілактика отруєнь	5
1.3. Правила використання фільтрувальних промислових протигазів	13
1.4. Зберігання реактивів	15
1.5. Фасування реактивів	18
Розділ 2. Класифікація та маркування хімічних речовин..	21
2.1. Узгоджена на глобальному рівні система класифікації та маркування хімічних речовин (УГС).....	21
2.1.1. Елементи УГС	21
2.1.1.1. Класифікація речовин за профілем небезпек	21
2.1.1.2. Елементи маркування згідно з УГС.....	24
2.1.1.2.1. Піктограми небезпеки	25
2.1.1.2.2. Заходи безпеки (P-фрази, Precautionary statements).....	25
2.1.1.2.3. Короткі характеристики небезпеки (H-фрази, Hazard phrase або H-phrase, Safety advice concerning dangerous substances and preparations).....	26
2.1.1.3. Сертифікат безпеки.....	27
2.2. Фрази ризику й безпеки	27
2.3. Квадрат небезпеки.....	28
Розділ 3. Перша домедична допомога	32
3.1. Зупинка серця й дихання	32
Непрямий масаж серця	32
Штучне дихання.....	34
3.2. Термічні опіки.....	36
3.3. Хімічні опіки	38

<i>Кислоти і луги.....</i>	<i>38</i>
<i>Феноли.....</i>	<i>39</i>
<i>Нітрсполуки.....</i>	<i>40</i>
<i>Білий фосфор.....</i>	<i>40</i>
3.4. Ураження електричним струмом.....	40
3.5. Кровотечі.....	41
<i>Накладання тиснучої пов'язки.....</i>	<i>42</i>
<i>Зупинка кровотечі з кінцівки згинанням у суглобах.....</i>	<i>42</i>
<i>Накладання джгута або закрутки.....</i>	<i>42</i>
3.6. Гострі отруєння.....	45
Розділ 4. Пожежна безпека.....	57
4.1. Основні поняття про процес горіння.....	58
4.2. Класифікація процесу горіння та горючих речовин.....	62
4.3. Класифікація пожеж.....	65
<i>4.3.1. Пожежі класу А: тверді матеріали.....</i>	<i>67</i>
<i>4.3.2. Пожежі класу В: рідини.....</i>	<i>67</i>
<i>4.3.3. Пожежі класу С: газу.....</i>	<i>68</i>
<i>4.3.4. Пожежі класу (Е): електроустановки під напругою.....</i>	<i>68</i>
<i>4.3.5. Пожежі класу D: метали.....</i>	<i>69</i>
<i>4.3.6. Пожежі класу F: кулінарні олії та жири.....</i>	<i>70</i>
4.4. Методи й засоби пожежогасіння.....	71
4.5. Види вогнегасних речовин і вогнегасників.....	73
<i>4.5.1. Класифікація вогнегасників.....</i>	<i>73</i>
<i>4.5.2. Будова вогнегасників.....</i>	<i>74</i>
<i>4.5.3. Маркування вогнегасників.....</i>	<i>77</i>
<i>4.5.4. Використання води для гасіння пожежі.....</i>	<i>79</i>
<i>4.5.5. Чисті вогнегасні агенти.....</i>	<i>81</i>
4.6. Вогнегасники.....	81
<i>4.6.1. Водяні вогнегасники.....</i>	<i>81</i>
<i>4.6.2. Вуглекислотні вогнегасники.....</i>	<i>83</i>
<i>4.6.3. Порошкові вогнегасники.....</i>	<i>88</i>
<i>4.6.4. Хладонові вогнегасники.....</i>	<i>93</i>

4.7. Вибір типу вогнегасника для різних класів пожеж	96
4.7.1. Хімічні аспекти вибору вогнегасника: загальні відомості про розчинність і густину речовин під час гасіння пожеж	99
4.8. Застосування вогнегасників і тактика пожежогасіння	101
4.8.1. Який вогнегасник варто використовувати	101
4.8.2. Як використовувати вогнегасник	102
Рис. 4.9. Алгоритм гасіння вогню	105
4.8.3. Загальні аспекти під час гасіння пожежі в хімічній лабораторії	105
4.8.4. Як застосовувати пожежне покривало	107
4.8.5. Що робити, якщо ви у вогні	107
4.8.6. Лабораторні пожежі й лабораторні витяжні шафи	109
4.8.7. Концепція безпеки	110
Розділ 5. Основи електробезпеки	113
5.1. Дія електричного струму на організм людини	113
5.2. Фактори, що впливають на наслідки ураження електричним струмом	115
5.3. Захист від ураження електричним струмом	121
5.4. Небезпека замикань на землю. Напруга дотику та кроку	122
5.5. Система засобів і заходів електробезпеки	123
Розділ 6. Джерела нагрівання	126
6.1. Пальник Бунзена	128
6.2. Нагрівальні плитки та магнітні мішалки з нагріванням	128
6.3. Нагрівальні кожухи	129
6.4. Нагрівальні бані. Матеріали та теплоносії для бань	132
6.4.1. Повітряні бані	132
6.4.2. Рідинні нагрівальні бані	133
6.4.3. Водяні бані	133

6.4.4. Масляні бані.....	135
6.4.4.1. Загальні заходи безпеки та правила роботи з масляними банями в лабораторії	137
6.4.5. Інші види рідинних бань	140
6.4.6. Сольові бані.....	141
6.4.7. Металеві бані	142
6.4.8. Піщані бані.....	144
6.5. Металеві нагрівальні блоки.....	144
6.6. Сушильні шафи	146
6.7. Теплові пістолети (фени).....	146
6.8. Муфельні печі	147
6.9. Мікрохвильові печі	147
6.10. Резистивні нагрівальні елементи (спіралі, електрокип'ятильники)	148
6.11. Лабораторний посуд зі струмопровідним покриттям.....	149
6.12. Інфрачервоні випромінювачі.....	150
Розділ 7. Техніка безпеки під час роботи з кріогенними рідинами	151
7.1. Вимоги безпеки під час роботи з посудинами Дьюара та охолоджувальними сумішами	154
7.2. Охолоджувальні бані	157
Розділ 8. Робота з вакуумними системи	162
8.2. Основні джерела небезпеки та правила під час роботи з вакуумними системами.....	163
8.3. Деталі вакуумних систем	165
8.4. Збирання вакуумної лінії	174
8.5. Висушування за низьких температур і зниженого тиску	177
Розділ 9. Робота з газами	179
9.1. Джерела небезпеки	179
9.2. Загальні запобіжні заходи	181

9.3. Робота з газовими балонами.....	184
9.4. Безпека під час експлуатації балонів.....	186
9.4.1. Техніка безпеки під час зберігання, транспорткування та експлуатації газових балонів.....	186
9.4.2. Транспорткування газових балонів.....	186
9.4.3. Зберігання газових балонів.....	187
9.4.4. Правила експлуатації газових балонів	188
9.5. Ацетиленові балони	190
9.6. Кисневі балони	191
9.7. Правила роботи з балонами, що містять хлор і фосген	192
9.8. Причини вибуху балонів	194
9.9. Конструкційні особливості балонів для стиснених газів, вентилі й редуктори для балонів	196
9.9.1. Кисневі балони.....	196
9.9.2. Ацетиленові балони	197
9.9.3. Вентиль кисневого балона	199
9.9.4. Вентиль ацетиленового балона	200
9.9.5. Класифікація газових редукторів	202
9.9.6. Особливості маркування балонів із газом.....	209
Розділ 10. Особливості роботи з органічними розчинниками	213
10.1. Легкозаймисті сполуки та горючі рідини	213
10.2. Правила роботи з пероксисполуками та розчинниками, що містять пероксиди	224
10.3. Вибухонебезпека закритих ємностей із горючими рідинами в зоні пожежі.....	233
Розділ 11. Техніка безпеки під час роботи з лужними металами	239
11.1. Правила роботи із натрієм.....	240
11.2. Правила роботи з літієм	244
11.3. Правила роботи з калієм.....	246

11.4. Рубідій і цезій.....	248
11.5. Техніка безпеки під час роботи з лужними металами	248
11.6. Гасіння лужних металів	249
Розділ 12. Правила роботи із ртуттю	253
12.1. Виявлення парів ртуті.....	258
12.2. Демеркуризація приміщення	259
12.3. Перша допомога під час отруєння парами ртуті..	263
Список використаних джерел	264
Додатки.....	268
Додаток 2.....	268
Додаток 4.....	300
Додаток 5.....	307
Додаток 8.....	309
Додаток 9.....	310
Перелік таблиць.....	320
Зміст	322

Навчальне видання

МІЛОХОВ Демид Сергійович
ХИЛЯ Ольга Володимирівна
ІЩЕНКО Валентина Василівна

**ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ
ПІД ЧАС РОБОТИ
В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ**

Навчальний посібник

X6