

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ
УКРАЇНИ**

В.М. Стрілець, П.А. Ковальов, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха

**ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

Навчальний посібник

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту
України**

Харків 2014

УДК 614.8 (07)

Авторський колектив:

В.М. Стрілець – вступ, розділи 1–9, експериментальні дослідження;

П.А. Ковальов – розділи 1, 2, 3, додатки;

П.Ю. Бородич – розділи 1, 2, 3, 8

С.В. Росоха – розділ 9.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів,
які навчаються за напрямками підготовки "Пожежна безпека"
(лист МОНмолодьспорт України від 22.07.2013 № 1/11-11838)*

Рецензенти: доктор технічних наук, професор О.М. Ларін, начальник кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України;
доктор технічних наук, доцент М.І. Адаменко, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна;
кандидат технічних наук, доцент І.М. Маладика, заступник начальника кафедри оперативно-тактичної діяльності Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

Навчальний посібник містить матеріал з основних розділів, що розкривають фізіологічні основи створення, особливості експлуатації та контроль за якістю засобів індивідуального захисту органів дихання та шкіри. У додатках наведено лабораторні роботи, які доцільно виконувати з метою дослідження засобів індивідуального захисту.

Навчальне видання призначене для курсантів, студентів та ад'юнктів вищих навчальних закладів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, а також керівного складу оперативно-рятувальних підрозділів, який займається придбанням та експлуатацією засобів індивідуального захисту.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	9
1. ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ (ЗІЗОД)	11
1.1. Основні поняття про фізіологію дихання	11
1.2. Атмосферне повітря та його властивості	18
1.3. Вплив на організм людини продуктів горіння та небезпечних хімічних речовин	26
1.4. Кількісні показники, що характеризують процес дихання	35
2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ	44
2.1. Забезпечення захисту людини від навколишнього середовища	44
2.2. Класифікація та вимоги до комплексу засобів індивідуального захисту (КЗІЗ)	48
2.3. Класифікація та принцип дії засобів індивідуального захисту органів дихання	52
3. ПРИНЦИПОВІ СХЕМИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ДИХАЛЬНИХ АПАРАТІВ	59
3.1. Фільтрувальні протигази	59
3.1.1. Історія створення	59
3.1.2. Протипилові респіратори	64
3.1.3. Протигазовий захист	69
3.2. Резервуарні дихальні апарати	71
3.2.1. Еволюція апаратів на стисненому повітрі	71
3.2.2. Апарати на стисненому повітрі	73

3.3.	Регенеративні дихальні апарати	83
3.3.1.	Протигаз професора Шванна та ребрізери	83
3.3.2.	Регенеративний дихальний апарат зі стисненим киснем	86
3.3.3.	Регенеративний дихальний апарат із рідким киснем	95
3.3.4.	Апарати на хімічно зв'язаному кисню	97
4.	ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ШКІРИ	
	ШКІРИ	101
4.1.	Герметичний гумовий костюм Пашутіна В.В.	101
4.2.	Вплив герметичності ізолюючих засобів захисту шкіри на їх захисні властивості	103
4.3.	Вплив ЗІЗШ на організм людини	105
4.4.	Загальні принципи використання ЗІЗШ	113
5.	ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ІЗОЛЮЮЧИХ АПАРАТІВ	117
5.1.	Нормування захисних характеристик ізолюючого апарата як характеристик системи «органи дихання – ізолюючий апарат»	117
5.2.	Підтримання герметичності ізолюючого апарата у процесі експлуатації	121
5.3.	Лицеві частини ізолюючих апаратів	126
5.4.	Типові розрахунки загальної захисної ефективності	129
5.5.	Робота газодимозахисників в умовах, які суттєво відрізняються від найгірших умов пожежі	134
5.5.1.	Аналіз особливостей роботи в ізолюючих апаратах, що мають різний принцип дії	134
5.5.2.	Експериментальна перевірка	142
5.5.2.1.	Методика експериментальних досліджень	142
5.5.2.2.	Аналіз отриманих результатів	144

5.5.3.	Особливості роботи в комплексах засобів індивідуального захисту (КЗІЗ) під час ліквідації аварій з викидами небезпечних хімічних речовин у найбільш небезпечній зоні	145
5.5.4.	Визначення послідовності вибору захисного одягу, ізолюючого апарата та лицевої частини до нього для роботи в умовах, які суттєво відрізняються від умов пожежі	150
5.5.5.	Приклади обґрунтування вимог до вибору комплексу засобів індивідуального захисту з позицій його захисної ефективності	153
6.	ПОВІТРОПОСТАЧАЛЬНА СИСТЕМА АПАРАТІВ НА СТИСНУТОМУ ПОВІТРІ (КИСНЕПОСТАЧАЛЬНА СИСТЕМА РЕГЕНЕРАТИВНИХ ДИХАЛЬНИХ АПАРАТІВ)	159
6.1.	Принцип дії повітропостачальної (киснепостачальної) системи	159
6.2.	Розвиток киснепостачальної системи	161
6.3.	Особливості вибору, розробки та експлуатації газових редукторів	173
6.4.	Легеневі автомати дихальних апаратів	182
6.5.	Приклад інженерного розрахунку отвору для витікання кисню	185
6.6.	Киснепостачання регенеративних дихальних апаратів	191
6.6.1.	Особливості киснепостачання РДА	191
6.6.2.	Закономірності киснепостачання	193
6.6.3.	Спосіб киснепостачання з комбінованою подачею кисню	199
7.	ОЧИСТКА ПОВІТРЯ, ЯКЕ ВИДИХАЄ	207

	ГАЗОДИМОЗАХИСНИК, ВІД ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ	
7.1.	Розвиток процесу очищення повітря від вуглекислого газу	207
7.2.	Основні характеристики сорбційних процесів	208
7.3.	Вапняний поглинач вуглекислого газу	214
7.4.	Лужний сорбент	223
7.5.	Регенерація повітря в апаратах на хімічно зв'язаному кисню	225
7.5.1.	Ергономічні основи вибору речовин, які містять хімічно зв'язаний кисень	225
7.5.2.	Аналіз роботи регенеративного патрона на основі надперекису натрію	227
7.5.3.	Взаємозв'язок характеристик людини та властивостей реального апарата на хімічно зв'язаному кисню	231
8.	КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ	235
8.1.	Порядок контролю КЗІЗ	235
8.2.	Загальні вимоги до засобів індивідуального захисту	237
8.3.	Контрольні випробування за допомогою приладів	244
8.3.1.	Визначення часу захисної дії за допомогою установки «Штучні легені»	246
8.3.1.1.	Стенд-імітатор зовнішнього дихання людини	246
8.3.1.2.	Особливості проведення випробувань	248
8.3.2.	Визначення зниження рівня працездатності засобів індивідуального захисту від впливу відкритого полум'я	250
8.3.2.1.	Вогнева установка для визначення стійкості до впливу відкритого полум'я	250
8.3.2.2.	Вогневі випробування	251

8.4.	Лабораторні дослідження на людях	252
8.4.1.	Контрольні випробування на людях у лабораторних умовах	252
8.4.2.	Особливості використання навантажувальних тестів	259
8.4.3.	Найбільш поширені навантажувальні тести	260
8.4.4.	Порівняльна оцінка ізолюючих апаратів за результатами використання навантажувальних тестів	264
8.5.	Полігонні випробування	266
8.6.	Підконтрольна експлуатація комплексу засобів індивідуального захисту	269
9.	ОБГРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ГАЗОДИМОЗАХИСНИКІВ У ЗАСОБАХ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ІЗОЛЮЮЧОГО ТИПУ	279
9.1.	Визначення практичних рекомендацій щодо підготовки рятувальників до роботи в непридатному для дихання середовищі	279
9.2.	Обґрунтування особливостей розрахунку часу роботи в ізолюючих апаратах, які не розглянуто в керівних документах	285
9.2.1.	Визначення часу роботи в апаратах на стисненому повітрі та регенеративних дихальних апаратах на стисненому кисню	285
9.2.1.1.	Балони для зберігання запасу повітря або кисню	285
9.2.1.2.	Особливості розрахунку часу роботи в непридатному для дихання середовищі в АСП та РДА	286
9.2.1.3.	Спрощені розрахунки часу роботи в АСП та РДА	303

9.2.1.4. Особливості розрахунків на посту безпеки під час роботи в АСП при ліквідації надзвичайних ситуацій в метрополітені	311
9.2.2. Визначення часу роботи в апаратах на хімічно зв'язаному кисню	313
Предметний покажчик	316
Скорочення	321
Література	322
Додаток	328

ВСТУП

Згідно із Кодексом цивільного захисту України особовий склад Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту України бере участь в ліквідації всіх надзвичайних ситуацій, які виникають. Проте існуюче пожежно-технічне обладнання, яке становить основу озброєння оперативно-рятувальних сил, було розроблене близько двадцяти п'яти років тому, виходячи з можливостей того часу й узвичаєних тоді ж тактичних прийомів.

Останнім часом розробляється і закупається техніка, у тому числі і за кордоном, при створенні якої враховано не тільки можливість досягнення поліпшених технічних характеристик, але і те, що змінилися умови служби і підготовки особового складу, тактика гасіння пожеж і ліквідації надзвичайних ситуацій. Особливо це стосується засобів індивідуального захисту рятувальників.

До того ж аналіз останніх досягнень та публікацій показав, що контроль якості засобів індивідуального захисту включає аналіз нормативно-технічної документації, перевірку зовнішнього вигляду, комплектації, маркування; випробування з використанням приладів та установок; випробування на стійкість до зовнішніх впливів; дослідження на стенд-імітаторі зовнішнього дихання людини; лабораторні дослідження на людях; полігонні випробування та підконтрольну експлуатацію. При цьому, з одного боку, загальні технічні вимоги, методи випробувань та їх обсяг досить повно для кожного об'єкта дослідження наведені у відповідних стандартах; з іншого боку, питання проведення полігонних випробувань та підконтрольної експлуатації практично ніде не розглядаються.

Не розглядаються й особливості застосування засобів індивідуального захисту в умовах, які суттєво відрізняються від

визначених для розробників у тактико-технічних вимогах (токсична небезпека середовища в осередку надзвичайної ситуації з викидом небезпечних хімічних речовин може бути у рази вищою за токсичну небезпеку середовища на пожежі, відповідно до якої створюються ізолюючі апарати; витьрата повітря в апаратах на стисненому повітрі у газодимозахисників під час евакуації потерпілих зі станцій глибокого закладення метрополітену є значно вищою за легеневу вентиляцію під час виконання робіт не тільки середнього ступеня важкості, відповідно до якого визначається порядок розрахунку часу роботи в АСП, але й дуже важких робіт тощо).

Все це свідчить, що знання основ створення та застосування засобів захисту органів дихання є необхідною вимогою до сучасних спеціалістів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, особливо тих, що визначають сьогодні і будуть визначати в найближчому майбутньому технічну політику в галузі впровадження цієї техніки в підрозділах.

ГЛАВА 1. ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ (ЗІЗОД)

1.1. Основні поняття фізіології дихання

Процес дихання є ознакою і властивістю живого організму. Завдяки диханню здійснюється газообмін між організмом і навколишнім середовищем. При цьому організм одержує ззовні кисень і виводить назовні вуглекислий газ і пари води, а в деяких випадках і інші газоподібні продукти розпаду речовин у тілі. Припинення дихання навіть на короткий час, що вимірюється хвилинами, може мати важкі, а іноді і згубні наслідки.

Дихальна система – сукупність органів, що беруть участь у процесі газообміну між організмом і зовнішнім середовищем. Дихальна система складається зі шляхів, що проводять повітря (носова порожнина, гортань, дихальне горло – трахея і бронхи), і власне дихальної частини – легень. Через повітронасосні шляхи здійснюється зв'язок порожнини легень із зовнішньою атмосферою.

Верхній відділ шляхів – носова порожнина, покрита слизовою оболонкою, багатою кровоносними судинами, завдяки чому відбувається нагрівання вдихуваного повітря. Крім того, у порожнині носа є волосся, призначене для затримки частинок пилу, що надходять разом із повітрям з атмосфери. Вдихуване повітря, проходячи через ніс, зволожується.

Нижній відділ повітронасосних шляхів починається трахеєю, що потім розділяється на два бронхи. Далі повітря, проходячи по бронхах і бронхіолах, заповнює велике число альвеол – легневих пухирців, у яких відбувається газообмін між кров'ю й альвеолярним повітрям. Стінки альвеол складаються з тонкого прошарку сполучної тканини, що містить велику кількість еластичних волокон. Завдяки цьому альвеолярні стінки

можуть розширюватися і тим самим збільшувати об'єм альвеол. Внутрішні стінки альвеол вистелені плоским епітелієм. Безпосередньо під епітелієм розташована рясна мережа кровоносних судин, так званих легневих капілярів. Діаметр кожної альвеоли дорівнює 0,2 мм, а площа її поверхні – близько 0,125 мм². У легенях дорослої людини є приблизно 700 млн альвеол. Отже, загальна площа їхньої поверхні дорівнює приблизно 90 м². Таким чином, дихальна поверхня в 60–70 разів перевищує поверхню шкіряного покриву людини. При глибокому вдиху альвеоли розтягуються і дихальна поверхня доходить до 250 м², перевищуючи поверхню тіла більш ніж у 125 разів.

Легені зовні покриті сірчаною оболонкою, так званою легеневою плеврою. Така ж оболонка покриває зсередини грудну клітку, створюючи пристінну плевро. Капілярний проміжок між ними (плевральна щілина) заповнений сірчаною рідиною. Таким чином, легені не мають безпосереднього зв'язку із м'язами та ребрами.

У складному процесі газообміну виділяють три основні фази: зовнішнє дихання, перенос газів кров'ю та внутрішнє, або тканинне дихання.

Зовнішнє дихання об'єднує всі процеси, що відбуваються в легенях. Воно здійснюється дихальним апаратом, до якого відносяться грудна клітка з м'язами, що приводять її до руху, діафрагма і легені з повітронасосними шляхами.

Грудна клітка – кістково-м'язовий щит, що захищає трахею і бронхолегеневу систему від зовнішніх ушкоджень. Крім того, грудні м'язи активно беруть участь в акті дихання. Ритмічні рухи грудної клітки механічно забезпечують вентиляцію легень, тобто наповнення їх атмосферним повітрям при вході і вигнання назовні багатого вуглекислим газом альвеолярного повітря з легень при виході. Головний дихальний м'яз – діафрагма. При вдиху діафрагма скорочується, а грудна порожнина

збільшується у вертикальному напрямку; м'язи грудної клітки при скороченні розширюють міжреберні проміжки. Об'єм грудної клітки при цьому зростає. Легені розширюються, й атмосферне повітря заповнює їх. Так відбувається вдих. Потім дихальна мускулатура грудної клітини і діафрагма розслаблюються, об'єм грудної клітки зменшується і відбувається видих.

Сутність процесу газообміну, який має місце в легенях під час зовнішнього дихання, полягає в переході кисню з альвеолярного повітря у венозну кров, яка циркулює по легеневих капілярах (поглинання кисню), та в переході вуглекислого газу з венозної крові в альвеолярне повітря (виділення вуглекислого газу). Цей обмін відбувається через тонкі стінки легеневих капілярів за законами дифузії, внаслідок різниці парціальних тисків газів в альвеолах і крові.

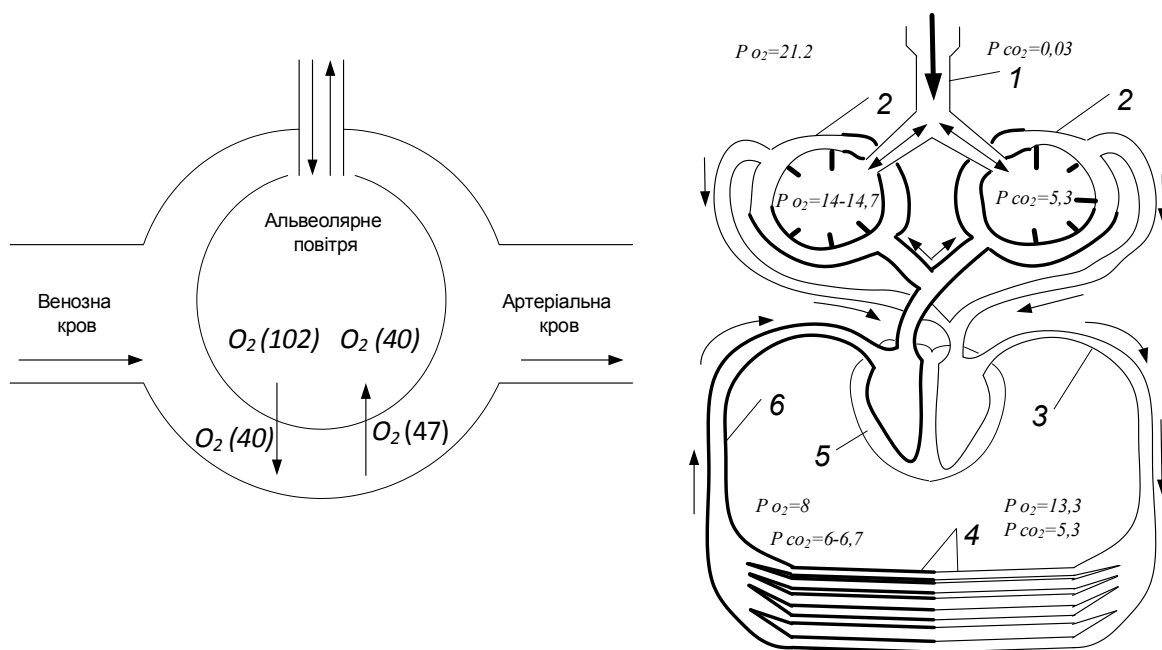


Рисунок 1.1 – Обмін газів крізь стінку альвеоли, схема органів дихання і кровообігу людини

1 – верхні дихальні шляхи; 2 – легені; 3 – артеріальна кров; 4 – капіляри тканин і внутрішніх органів; 5 – серце; 6 – венозна кров

Значення парціального тиску газів в організмі людини є досить стабільними (див. табл. 1.1.).

Таблиця 1.1 – Парціальний тиск та об’ємна доля кисню та вуглекислого газу в повітрі

Середовище, в якому знаходяться гази	Парціальний тиск, КПа		Об’ємна доля, %	
	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
Атмосферне повітря, що вдихається	21,2	0,03	21	0,03
Альвеолярне повітря	14,0–14,7	5,3	14,2–14,6	5,6
Повітря, що видихається	15,2–16,2	3,3–4,3	16–17	3,5–4,5
Венозна кров	8	6–6,7	–	–
Артеріальна кров	13,3	5,3	–	–
Тканини	1,3–2,6	7,3–8	–	–

Збагачена киснем кров із легень розноситься по всій кровоносній системі, віддаючи для живлення тканин кисень і вбираючи вуглекислий газ. Кров разом із лімфою є внутрішнім середовищем організму і виконує такі основні функції:

- розносить по організму живильні речовини: вуглеводи, білки, жири тощо;
- виносить з організму продукти розпаду: молочну кислоту, солі, сечовину та ін.;
- доставляє до клітин кисень і виносить із них вуглекислий газ;
- здійснює захист організму від шкідливих речовин і сторонніх тіл.

Складовими крові є:

- плазма, куди входять 90–92 % вологи та 8–10 % сухого залишку (білки, глюкоза, сечовина, амінокислоти і неорганічні солі К, Na, Са та ін.);

- еритроцити, в яких знаходиться речовина червоного кольору гемоглобін, що є основним переносником газів у крові. Гемоглобін має неміцне з'єднання з киснем і вуглекислим газом, а також тривке з'єднання з окисом вуглецю. У кожному еритроциті міститься близько 270 мільйонів молекул гемоглобіну. Гемоглобін, з'єднаний із киснем, називається *оксигемоглобіном*, а з'єднаний із вуглекислим газом – *бікарбонатом*, з окисом вуглецю – *карбоксигемоглобіном*.

В організмі людини є два кола кровообігу. Велике коло кровообігу починається з лівого шлуночка серця, потім йде в аорту, артерії, артеріоли, капіляри і закінчується у правому передсерді; мале коло – починається з правого шлуночка серця, йде в легеневі артерії й капіляри і закінчується в лівому передсерді.

Ритмічні коливання стінок артерій називають “артеріальним імпульсом”. Пульс у значній мірі відбиває роботу серця і, прощупуючи його, можна скласти деяке уявлення про роботу серця, стан всієї серцево-судинної системи і про отримане фізичне навантаження.

Кисень, що надходить у кров, доставляється нею до всіх клітин організму. У клітинах відбуваються важливі для життя окисні процеси. Віддаючи кисень клітинам, кров захоплює вуглекислоту, а також пари води і доставляє їх до альвеол. Процес тканинного дихання називається “*внутрішнім диханням*”. Головною умовою життя є обмін речовин (енергії), а основними джерелами енергії є живильні речовини. При окисненні цих речовин утворюються різноманітні з'єднання, у результаті чого виділяється енергія. Внаслідок окислювання енергетичних речовин у клітинах, парціальний тиск вуглекислого газу підвищується (в порівнянні з його вмістом в артеріальній крові) й в умовах спочинку досягає 6,25 КПа (47 мм рт. ст.) (при фізичній роботі є значно вищим). Вуглекислий газ, взаємодіючи з водою, утворює вугільну кислоту (H_2OCO_3O). Вугільна кислота, з'єднуючись із солями гемоглобіну, перетворюється на бікарбонат

гемоглобіну і з кров'ю транспортується до легень. В легенях відбувається зворотна реакція: відщеплюється вуглекислий газ, відновлюється гемоглобін і вода.

Кількість поглиненого кисню звичайно перевищує ту кількість вуглекислого газу, що виділяється організмом. Це пояснюється тим, що окисні процеси йдуть не тільки з вуглеводами, але і з білками, жирами та іншими речовинами.

Легеневий газообмін характеризується трьома показниками: об'ємною швидкістю виділення вуглекислого газу ω_{CO_2} (л/хв), об'ємною швидкістю поглинання (споживання) кисню ω_{O_2} (л/хв) та дихальним коефіцієнтом

$$K_{\text{дих}} = \frac{\omega_{CO_2}}{\omega_{O_2}}, \quad (1.1)$$

Поглинання кисню та виділення вуглекислого газу змінюються залежно від інтенсивності виконуваної фізичної роботи. Необхідний для організму рівень газообміну досягається за рахунок змінення легеневої вентиляції. Її збільшення приводить до підвищення парціального тиску кисню і зменшення парціального тиску вуглекислого газу в альвеолярному повітрі, завдяки чому інтенсифікуються процеси дифузії кисню та вуглекислого газу через стінки легневих капілярів.

Як видно з табл. 1.1, різниця парціального тиску по обидві сторони стінок легневих капілярів становить для кисню 6–6,7 КПа та для вуглекислого газу – 0,7–1,4 КПа. Незважаючи на незначну різницю парціальних тисків, вуглекислий газ встигає виділитися з крові у необхідній кількості, оскільки його швидкість дифузії через стінки капілярів у 25 разів вище, ніж у кисню. Рівень парціального тиску

вуглекислого газу, який в альвеолярному повітрі стабільний (5,3 КПа) і є біологічною константою, через дихальний центр регулює інтенсивність легеневої вентиляції. Незначне підвищення парціального тиску вуглекислого газу приводить до збільшення інтенсивності легеневої вентиляції, а зниження – до її зменшення.

Порівняння газового складу вдихуваного і видихуваного повітря (див. табл. 1.2) показує, що потрапляння кисню з повітря, яке вентилює легені, становить 4–5%, а об'ємна доля вуглекислого газу збільшується на 3,5–4,5%. Таким чином, через легені повинен пройти в 20–25 разів більший об'єм повітря.

Таблиця 1.2 – Склад вдихуваного і видихуваного повітря

Склад повітря	Вміст в % за об'ємом повітря:		
	в атмосферному повітрі	в альвеолярному повітрі	у видихуваному повітрі
Азот, N ₂	78,09	74,2	78,50
Кисень, O ₂	20,95	13,4	16,4
Вуглекислий газ, CO ₂	0,03	5,2	4,1
Інертні гази	близько 1,0	близько 1,0	близько 1,0
Водяні пари, H ₂ O	-	6,2	-

Значення дихального коефіцієнта змінюється від 0,7 до 1,1, залежно від інтенсивності фізичної роботи, характеру споживаної їжі (співвідношення в ній жирів, білків та вуглеводів) та інших причин.

Транспортування кисню з легень до тканинних капілярів та вуглекислого газу у зворотному напрямку здійснюється відповідно по артеріях та венах великого кола кровообігу. Тканеве дихання має місце у результаті різниці парціальних тисків газів у капілярах і самих тканинах за

законами дифузії.

Крім того, через поверхню тіла, тобто через шкіру, забезпечується 1–2 % усього газообміну, що відбувається в легеня.

Дихання – найважливіший процес, який протікає в організмі безупинно. При порушенні зовнішнього дихання продовжується внутрішнє дихання. Якщо протягом 5–6 хвилин воно не відновиться, настає смерть. Регулювання дихання здійснюється центральною нервовою системою залежно від умов, у яких перебуває організм, і незалежно від вольових зусиль.

1.2. Атмосферне повітря та його властивості

За своїм складом атмосферне повітря (прошарок повітря, який оточує Земну кулю) є механічною сумішшю різноманітних газів, кількість яких у сухому повітрі залишається незмінною. Маса одного літра повітря дорівнює *1,293 г* за тиску *101 кПа (760 мм рт. ст.)* і температури *0°C*. Склад атмосферного повітря наведений у таблиці 1.2.

Оскільки повітря має масу, то воно справляє певний тиск на поверхню землі. Атмосферний тиск не завжди і не скрізь буває однаковим і залежить від географічної широти, температури повітря і висоти над рівнем моря. На широті 45 градусів на рівні моря за температури *0°C* атмосферний тиск врівноважується у трубці з перерізом *1 см²* барометра стовпом ртуті висотою *760 мм* або стовпом води *10,33 м* при *4°C*, що відповідає тиску на *1 см²* поверхні силою *10 Н (1,033 кгс)*. Ця величина називається “нормальною” або фізичною атмосферою. У техніці користуються технічною атмосферою (*кгс/см²*), що відповідає тиску *10 м вод. ст.* або *735,6 мм рт. ст.* за зазначених вище умов. У системі одиниць СІ тиск вимірюється у Паскалях:

$$1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 0,102 \text{ мм вод. ст.} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ м вод. ст.} = \\ = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ кгс/см}^2 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст}$$

Повітря за підвищення тиску дуже легко стискається, значно зменшується в об'ємі. Тиск повітря вимірюють за допомогою манометрів, що показують надлишковий тиск, тобто тиск над атмосферним. Сума надлишкового й атмосферного тисків називається “абсолютним тиском”.

У зазначених земних умовах на людину повітря давить рівномірно з усіх боків. Якщо поверхня тіла людини дорівнює $1,7-1,8 \text{ м}^2$, то сила тиску повітря на нього становить $17-18 \text{ тис. кгс}$. Проте людина цього не відчуває, оскільки її тіло на 70% складається з рідин, що практично не стискаються, а у внутрішніх порожнинах (легенях, середньому усі та ін.) тиск врівноважується протистиском повітря, котрим людина дихає. За зміни тиску виникають хворобливі відчуття, які властиві водолазам, льотчикам, альпіністам.

Повітря, як і інші реальні гази й газові суміші, підпорядковується, з відомим наближенням, законам, виведеним для реальних газів. Будь-яка кількість газу або газової суміші характеризується чотирма величинами: об'ємом (V), тиском (P), температурою (T) і масою (m). Всі ці величини знаходяться в постійному зв'язку, який визначається газовими законами.

Залежність тиску повітря від його об'єму встановлено відомим у фізиці законом Бойля-Маріотта:

$$P \cdot V = \text{Const}, \quad (1.2)$$

де P – абсолютний тиск;

V – об'єм газу.

Користуючись цією формулою, визначають запас повітря (кисню) у балонах повітряних або кисневих протигазів.

На практиці доводиться враховувати зміни об'єму, тиску за різноманітних температур. Ця залежність об'єму і тиску повітря від його температури визначається законами Гей-Люссака і Шарля. Закони можуть бути виражені двома формулами:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 \text{ коли } P = \text{Const} \quad (1.3)$$

та

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 \text{ коли } V = \text{Const} . \quad (1.4)$$

При визначенні абсолютної температури газу потрібно до величини *273 градуси* додати температуру газу в градусах Цельсія. Наприклад, за температури повітря 20°C його абсолютна температура буде дорівнювати 293°K .

Різнманітні гази, що входять до складу повітря, по-різному діють за підвищення тиску на організм людини. Тому для того щоб розглянути дію на людину якогось газу під тиском, треба знати парціальний тиск цього газу, тобто частку загального тиску, що припадає на цей газ.

Відповідно до закону Дальтона загальний атмосферний тиск складає:

$$P_{\text{атм}} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{CO_2} + \dots P_n, \quad (1.5)$$

де $P_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск, МПа;

$P_{N_2}, P_{O_2}, P_{CO_2}, \dots, P_n$ – парціальні тиски азоту, кисню, вуглекислого газу та інших газів, які входять до складу повітря, МПа.

З формули (1.5) видно, що атмосферний тиск дорівнює сумі парціальних тисків газів, що входять до складу повітря.

Величина парціального тиску газу, що входить до складу повітря, визначається за формулою:

$$P_i = \frac{P_{\text{атм}} \cdot n_i}{100}, \quad (1.6)$$

де n_i – процентний склад i -го газу, який входить до складу атмосферного повітря, %.

У стиснутому повітрі відсотковий уміст газів, що входять до складу повітря, залишається незмінним, але парціальний тиск кожного газу (кисню, азоту, вуглекислого газу та ін.) підвищується рівно у стільки разів, у скільки разів підвищений загальний тиск.

Наприклад, на поверхні парціальний тиск кисню становить

$$P_{O_2} = \frac{0,1 \cdot 21}{100} = 0,021 \text{ МПа}.$$

За недостатнього тиску $0,2 \text{ МПа}$ (2 кгс/см^2) парціальний тиск вже дорівнюватиме, враховуючи:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{зб}} + P_{\text{атм}} = 0,2 + 0,1 = 0,3 \text{ МПа} \text{ (} 3 \text{ кгс/см}^2 \text{)};$$

$$P_{O_2} = (0,3 \cdot 21) \cdot 100 = 0,063 \text{ МПа} \text{ (} 0,63 \text{ кгс/см}^2 \text{)}.$$

Фізіологічна дія того або іншого газу визначається не відносним відсотковим умістом газу в суміші, а (як це було показано в 1.1) величиною його парціального тиску. Це підтверджується таким прикладом. Якщо людина буде дихати на поверхні землі повітрям, у якому міститься $7,0\%$ кисню, вона швидко знепритомніє і загине від нестачі кисню, тому що парціальний тиск у даному випадку буде дорівнювати лише 7 КПа ($0,07 \text{ кгс/см}^2$). Якщо людина буде вдихати це ж повітря за абсолютного тиску $0,3 \text{ МПа}$ (3 кгс/см^2) за глибини занурення 20 м , вона

буде почувати себе добре, тому що в цьому випадку парціальний тиск кисню підвищиться у три рази і стане рівним $7 \times 3 = 21$ КПа ($0,21$ кгс/см²). Тобто таким само, як і на поверхні землі.

Відомо, що гранична величина парціального тиску кисню, що викликає отруєння організму, дорівнює $0,28$ МПа ($2,8$ кгс/см²). Це приводить до того, що при зануренні в кисневих ізолюючих протигазах під воду із вмістом у дихальній суміші близько 90% кисню, подібний тиск настає вже на глибині близько 20 м, оскільки

$$0,9 \cdot 0,3 = 0,27 \text{ МПа (} 2,7 \text{ кгс/см}^2 \text{)}.$$

Тому щоб уникнути кисневого отруєння, занурення в кисневих ізолюючих протигазах у воду не допускається.

Найбільшу частину земної атмосфери становить азот. У звичайних умовах він є фізіологічно нейтральним газом, що не бере участі в обміні речовин. У порівнянні з іншими газами, що входять до складу повітря, азот має підвищену розчинність у крові і тканинах людського організму. **Азот** – газ без кольору, запаху і смаку, він не горить і не підтримує горіння, є трохи легшим за повітря, його питома маса дорівнює $1,25$ кг/м³.

За нормального тиску це нешкідливий газ, але при парціальному тиску близько $0,55$ МПа ($5,5$ кгс/см²) він справляє наркотичну дію. До речі, з підвищенням тиску зростає парціальний тиск та інших шкідливих домішок в повітрі (вуглекислого газу і т.д.), унаслідок чого підвищується їх токсична дія. Крім наркотичної дії азоту й отруйної дії кисню і вуглекислого газу, перебування під підвищеним тиском спричиняє насичення організму газами, що розчиняються у тканинах і крові.

Необхідно відзначити, що розчинення кожного газу відбувається незалежно від розчинення інших газів. За нормального тиску в організмі людини масою 70 кг розчинено близько 1 л азоту. При вдиханні газової

суміші, збагаченої киснем, відбувається “вимивання” цього азоту з організму людини. З підвищенням тиску спроможність тканин організму розчиняти гази збільшується пропорційно тиску. Кількість газу, що може розчинитися в рідині, залежить від величини парціального тиску, часу перебування під тиском і об’єму легеневої вентиляції. При фізичному навантаженні частота і глибина дихання, а також швидкість кровотоку збільшуються, тому насичення організму газами перебуває у прямій залежності від інтенсивності фізичного навантаження.

За швидкого зниження тиску розчинений у тканинах газ починає утворювати бульбашки. Током крові вони можуть розноситися по всьому тілу, викликаючи закупорку кровоносних судин, що призводить до декомпресійної (кесонної) хвороби.

Вміст азоту у видихуваному повітрі збільшується приблизно на 0,4 %, що відповідає 0,12 л/хв. при виконанні роботи середньої важкості. Цей азот виділяється з організму під час окиснення та видозміни білків. Тобто відбувається процес “вимивання” азоту з організму. Азот накопичується в системі протигазу, внаслідок чого відсотковий вміст кисню небезпечно зменшується. Тобто необхідно вживати заходів до видалення азоту із системи апарата для виключення заазотування ємкості протигаза.

Істотно діють на організм людини пари, що містяться в повітрі, кількість яких може коливатися до 4 % за об’ємом. Чим вище температура повітря, тим більше в ньому водяної пари. Нормальним для дихання людини вважається повітря, в якому вміст водяної пари не перевищує 1,5–2,5 %.

Кисень – основний газ, що бере участь в окисному процесі, який відбувається в живому організмі. Без кисню життя людини не можливе. Раптова перерва в забезпеченні організму киснем, або навіть зменшення його надходження до тканин викликає кисневе голодування. Таке

захворювання може наступити, якщо вміст кисню у вдихуваному повітрі буде менше 16 % за нормального атмосферного тиску. Вплив кисню на організм людини наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Вплив кисню на організм чоловіка

Кількість кисню у повітрі, %	Стан організму
16–17	Нездужання, задишка, підсилюється серцебиття
11–13	Явна серцева недостатність, підвищується частота пульсу та дихання
10,0	Знепритомнення (втрата свідомості)
7–8	Може наступити смерть

Граничне значення парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі, нижче якого в організмі людини відбуваються функціональні розлади, становить 13 КПа (97,5 мм рт.ст.), що відповідає вмісту його у вдихуваному повітрі близько 13 % за нормального атмосферного тиску.

Перша допомога при кисневому голодуванні – винесення постраждалого на свіже повітря. Якщо його дихання припинилося, необхідно зробити штучне дихання і викликати лікаря. Після надання допомоги постраждалий швидко приходить у нормальний стан.

Концентрація кисню в повітрі знижується з кількох причин. При пожежах у приміщеннях із поганим припливом повітря кисень витрачається на горіння (див. табл. 1.4). У цьому випадку концентрація його може знизитися до небезпечного значення. Крім того, можливі випадки витиснення повітря димом, наприклад, при пожежах у метро, тунелях, підвалах і т.д.

Таблиця 1.4 – Концентрація кисню та вуглецю на пожежі

Місце відбору проб	Вміст в % (за об'ємом)		
	CO	CO ₂	O ₂
Пожежі в підвалах	0,04–0,65	0,1–3,4	17,0–20,0
Пожежі на горищах	0,01–0,2	0,1–2,7	17,7–20,7
Пожежі на поверхах	0,01–0,4	0,3–10,1	9,9–20,8
Досліди з щільними димами	0,20–1,1	0,5–8,4	10,8–20,0

Кисень – газ без кольору і запаху, важчий за повітря (щільність – $1,43 \text{ кг/м}^3$). Кисень не горить, але підтримує горіння. Для дихання в балонах кисневих ізолюючих протигазів застосовується чистий медичний кисень з аналізом, який підтверджує, що його вміст становить не менше 99,5 %.

У системі регенеративного дихального апарата вміст кисню, як правило, більше 60%. Наукові дослідження і багаторічна практика показали, що вдихання повітря, яке має у своєму складі підвищений вміст кисню, за атмосферного тиску в основному є безпечним для людини і не відбивається на її здоров'ї. У цьому випадку парціальний тиск менше граничного рівня $0,28 \text{ МПа}$ ($2,8 \text{ кгс/см}^2$). Проте дихання чистим киснем в атмосферних умовах протягом трьох діб призводить до розвитку запальних процесів у легенях людини.

У здорових людей віком 20 – 45 років, якщо вони дихають чистим киснем більше 7 годин, з'являється задишка й інші ознаки незадовільного стану. Тому кількість вмикань в регенеративний дихальний апарат без крайньої потреби має бути обмежена. Перебування в апараті більше 4 годин є неприпустимим і може бути дозволене лише у випадку крайньої потреби (рятування постраждалих і т.д.). Особи, що відпрацювали в регенеративних дихальних апаратах одну зміну, можуть знову залучатися до роботи у протигазі не раніше, ніж через 8 годин.

До чинників, що ведуть до виникнення кисневого отруєння, відносяться: підвищений вміст у вдихуваному повітрі вуглекислого газу, напружена фізична робота, переохолодження або перегрівання організму.

До складу атмосферного повітря входить (див. табл. 1.2) і **вуглекислий газ (CO_2)** – газ без кольору, запаху, зі слабким кислуватим смаком, важче кисню. Причиною підвищення кількості вуглекислого газу на пожежі можуть бути вибухові процеси, результати окиснення деревини та вугілля. Крім того, вуглекислий газ при гасінні іноді подають до ізольованих пожежних ділянок. Якщо у повітрі міститься до 3 % вуглекислого газу, то він стимулює дихання. Так, у стані спокою підвищення вмісту CO_2 в альвеолярному повітрі на 0,01 % викликає підвищення альвеолярної вентиляції на 5 %. При диханні повітрям, яке містить 6 % CO_2 , з'являється задишка та слабкість; при 10 % є небезпека виникнення запаморочення; при 20–25 % – смертельне отруєння.

Джерелом вуглекислого газу в газоповітряній суміші, яку вдихає газодимозахисник з ізолюючого протигаза, є шкідливий простір самого апарата (протягом усього часу роботи в ньому) та неповне поглинання видихуваного вуглекислого газу в регенеративному патроні кисневого ізолюючого протигаза.

Встановлено, що під час багатогодинної роботи в регенеративних дихальних апаратах середній склад CO_2 у вдихуваній суміші не повинен перевищувати 0,25 %, а максимальний – 1 %.

1.3. Вплив на організм людини продуктів горіння та небезпечних хімічних речовин

Горіння є процесом окиснення, у результаті якого виділяються тепло і продукти згорання, що спостерігаються у вигляді диму.

При повному згоранні органічних речовин утворюються, як правило,

вуглекислий газ і вода. При неповному згоранні (що здійснилося за нестачі повітря), крім вуглекислого газу і парів води, утворюються й інші сполуки типу окису вуглецю (CO), складні органічні сполуки (спирти, кетони, альдегіди, кислоти та ін.).

Дим являє собою дисперсну систему, що складається з дрібних незгорілих твердих, рідких або газоподібних часток речовини, що горить, величиною не менше $0,1$ мкм, що перебувають у зваженому стані. Дим спроможний адсорбувати на своїй поверхні не тільки гази, але і пари рідини: при цьому він ускладнює видимість і задушливо діє на органи дихання людини. Дим має велику стійкість. Це пояснюється тим, що частинки диму, внаслідок тертя між собою, несуть на собі електричні заряди.

Властивості димових продуктів і ступінь задимлення багато в чому залежать від температури диму. З підвищенням температури збільшується токсичність димових газів і зменшується їх середня щільність. Дим, що утворився при пожежі в будинках, може розповсюджуватися з приміщень у приміщення через прорізи, щілини і дрібні отвори в конструкціях. Найбільша небезпека задимлення приміщень створюється у випадку, якщо димом заповнені сходові клітки, коридори, вентиляційні канали і шахти ліфтів. Характеристика диму залежить від виду продуктів, що горять. За кольором диму можна визначити основний вид матеріалів, які горять, що має істотне значення при оцінці обстановки на пожежі й організації її гасіння. В умовах пожежі продукти згорання і теплового розкладання, що входять до складу диму, діють на організм людини комбіновано, тому їхня загальна токсичність є небезпечною для життя навіть за незначних концентрацій. За великих концентрацій продуктів згорання у складі диму знижується відсотковий уміст кисню, що також небезпечно для життя людини (табл. 1.4).

За характером впливу на організм людини всі хімічні речовини, що

входять до складу диму, розділяють на п'ять груп:

- до першої групи входять речовини, що мають припікальну, подразнюючу дію на шкірні покрови і слизові оболонки.

Наслідки таких впливів – кашель, печіння, сверблячка. З речовин, що входять до складу диму, до цієї групи відносяться: сірчистий газ, пари багатьох органічних сполук – продуктів неповного згорання (мурав'їної й оцтової кислот, формальдегіду, парів дьогтю і т.д.);

- до другої групи входять речовини, що мають подразнюючий вплив на органи дихання: хлор, аміак, сірчистий і сірчаний ангідрид, хлорпикрин, окисли азоту, фосген і т.п. Вони викликають розлад дихання, параліч дихальних м'язів, ураження органів дихання. До таких порушень веде і збільшення концентрації в повітрі вуглекислого газу вище 8–10 %. Речовини (хлор, аміак, сірчистий газ), розчинні у воді, а отже, й у слизу, уражають верхній відділ дихального шляху, покритий слизом. Це призводить до розвитку ларингіту, трахеїту, бронхіту. Гази, малорозчинні у воді (фосген, окисли азоту), не затримуються вологою слизу верхніх дихальних шляхів і досягають альвеол. Вони сприяють розвитку пневмонії й ускладненню цього захворювання – набряку легенів, утворення якого пов'язане із затримкою тканинної рідини в організмі і застоєм крові в легенях. При набряку з'являються задишка, кашель, у важких випадках настає смерть від ядухи. Слід врахувати, що дія деяких токсичних речовин (фосгену, миш'яковистого водню) виявляється не відразу, а через певний період (від 2 до 8–10 годин) від моменту потрапляння отрути в організм;

- до третьої групи входять токсичні речовини, що діють переважно на кров. До цієї групи відносяться: бензол і його похідні – ксилол, толуол, аміно- і нітросполуки, а також миш'яковистий водень, свинець, окис вуглецю та ін., які при потрапленні в кров викликають руйнацію і загибель червоних кров'яних тілець (еритроцитів), що веде до швидкого розвитку

різко вираженого недокрів'я, зниження доставки кисню і кисневого голодування;

- до складу четвертої групи входять отрути, що впливають на нервову систему (бензол та його похідні, сірководень, сірковуглець, метиловий спирт, анілін, тетраетилсвинець та ін.);

- п'яту групу складають ферментні або обмінні отрути (синильна кислота, сірководень та ін.), що діють на функцію дихання. Внаслідок цього тканини позбавляються спроможності використовувати кисень, доставлений кров'ю.

Велика кількість отрут, що входять до складу всіх цих груп, надходить в організм через органи дихання, а тому при роботі в осередках пожежі існує потреба в їх надійному захисті. За ступенем впливу на організм людини всі шкідливі речовини поділяють на 4 класи небезпеки (див. табл. 1.5):

1-й – речовини надзвичайно небезпечні;

2-й – речовини високонебезпечні;

3-й – речовини із середнім ступенем небезпечності;

4-й – речовини малонебезпечні.

Таблиця 1.5 – Класи небезпеки речовин

Показники	Норми для класу небезпеки			
	1-й	2-й	3-й	4-й
Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин	менше 0,1	0,1–1,0 (окису азоту)	1,1–10	більше 10
Середня загибельна доза при введенні у шлунок, мг/кг	менше 15,0	15–150	151– 5000	більше 5000
Те ж саме при нанесенні на	менше	100–500	501–	більше

шкіру, мг/кг	100		2500	2500
Середня загибельна концентрація в повітрі, мг/кг	більше 500	500–5000	5001– 50000	більше 50000
Коефіцієнт небезпеки інгаляційного отруєння (КНІО).	більше 300	300–30	29–3	менше 3

Відповідно до вимог, виконання яких забезпечує безпечну працю, небезпечні продукти горіння у повітрі, яким дихає газодимозахисник, не повинні перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), які наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Гранично допустимі концентрації небезпечних продуктів горіння

Газ	ГДК		Максимальний вміст під час пожежі	
	мг/м ³	% за об'ємом	% за об'ємом	К _{тн}
Окис вуглецю (CO)	30	$2,61 \cdot 10^{-3}$	10	$3,83 \cdot 10^3$
Сірчистий газ (SO ₂)	10	$0,37 \cdot 10^{-3}$	1	$2,70 \cdot 10^3$
Сірководень (H ₂ S)	10	$0,71 \cdot 10^{-3}$	1	$1,41 \cdot 10^3$
Окиси азоту (в перерахунку на NO ₂)	5	$0,26 \cdot 10^{-3}$	1	$3,85 \cdot 10^3$

ГДК шкідливих речовин – це їх концентрація, яка за постійної роботи протягом усього трудового стажу не здатна викликати захворювань або відхилень у стані здоров'я працюючого. Під час короткочасного епізодичного дихання повітря, яке містить шкідливі речовини, їх допустимі концентрації можуть бути дещо вищими. Підвищена ГДК (у півтора рази) може бути тільки за короткочасного (не більше 4 годин)

впливу повітря з домішками окису вуглецю.

Внаслідок пожежі склад шкідливих речовин у повітрі може підвищитись у сотні та тисячі разів по відношенню до ГДК, через що атмосфера стає не тільки непридатною, але й небезпечною для життя людей з незахищеними органами дихання. Відношення фактичної концентрації $C_{\text{шк}}$ шкідливого газу до його ГДК:

$$K_{\text{тн}} = \frac{C_{\text{шк}}}{C_{\text{ГДК}}} \quad (1.7)$$

називають *коефіцієнтом токсичної небезпеки середовища*.

При одночасному вмісті в повітрі декількох шкідливих газів односпрямованої дії коефіцієнт токсичної небезпеки дорівнює сумі коефіцієнтів для окремих компонентів (усі гази, наведені в табл. 1.6, мають односпрямовану дію).

На практиці більш доцільно характеристику токсичної небезпеки середовища, яке містить суміш шкідливих газів, давати через еквівалентний склад у ній окису вуглецю. Для цього фактичну концентрацію кожного газу множать на коефіцієнт, який отримують від ділення ГДК окису вуглецю на ГДК розглянутого газу, а потім визначають суму еквівалентних концентрацій.

Під час пожеж найбільш поширеним та шкідливим газом є **окис вуглецю (CO)** – газ без кольору, смаку та запаху. Легко з'єднуючись із гемоглобіном крові (в 250–300 разів активніше, ніж кисень), вуглекислий газ зменшує здатність крові поглинати кисень, викликаючи, внаслідок цього, кисневий голод організму (див. табл. 1.7).

Таблиця 1.7 – Токсичні концентрації окису вуглецю

Ступінь отруєння	Час впливу газу	Об'ємна концентрація CO при +10 ⁰ C, %
1-ий, слабкі симптоми отруєння	після декількох годин	0,016
2-ий, слабке отруєння	до 1 години	0,048
3-ій, тяжке отруєння	після 0,5–1 години	0,128
4-ий, смертельно небезпечне отруєння	після короткотривалого впливу	0,4
Смерть	після декількох вдихів	> 1

Сірчистий газ (SO_2) – без кольору, має різкий смак та запах, є досить отруйним. З'являється у випадках, коли вибухові або горючі речовини вміщують сірку. Цей газ подразнює дихальні шляхи та очі, створюючи на їх поверхні сірчисту кислоту; в тяжких випадках викликає запалення бронхів, набряк гортані та легень. Об'ємна концентрація вже в 0,05 % є небезпечною для життя навіть при короткочасних диханнях.

Сірководень (H_2S) – газ без кольору, зі сладкуватим смаком та запахом. Створюється як під час пожеж, так і у випадках загнивання органічних речовин. Дуже отрутний, діє подразнююче на очі та дихальні шляхи. Смертельно небезпечною навіть за короткочасного впливу є концентрація H_2S , яка дорівнює 0,1 %.

Окиси азоту (NO , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5) – отрутні червоно-бурі гази з різким запахом. Утворюються під час вибухів. Вони подразнюють дихальні шляхи та очі, внаслідок створення на їх поверхні азотної кислоти; в тяжких випадках викликають набряк легенів. Смертельна концентрація окисів азоту при короткочасних диханнях – 0,025 %.

В окремих випадках склад шкідливих газів може перевищувати значення, наведені в табл. 1.5. Так, наприклад, під час ізоляції підземних

пожеж у просторі за перемичкою склад окису вуглецю може перевищувати 10%. Проведення будь-яких робіт у цьому випадку, як правило, забороняється.

Склад кисню в повітрі під час пожежі також різко знижується. Особливо це характерно для пожеж у закритих приміщеннях, де він витрачається на окиснення горючих матеріалів, але не поповнюється. Штучне зменшення кисню під час гасіння може здійснюватися генераторами інертного газу, запуском азоту або вуглекислого газу.

Дихання повітрям зі зниженим складом кисню призводить до неповного насичення ним крові в легеневих капілярах. Здоровою людиною при диханні повітрям, яке містить 14–15 % кисню, суб'єктивно не відчувається недостатність останнього, оскільки падіння парціального тиску кисню в альвеолах компенсується підвищенням легеневої вентиляції. Подальше зменшення вмісту кисню викликає гіпоксію (недостачу кисню у крові), що приводить до кисневого голоду. Граничне значення парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі, нижче якого в організмі людини відбуваються функціональні розлади, становить 13 кПа, що відповідає вмісту кисню у вдихуваному повітрі близько 13 % за нормального атмосферного тиску.

Ознаками *гіпоксії* є підвищення частоти дихання та пульсу, зниження здатності продуктивно мислити, порушення чіткості у роботі деяких м'язів. Головна небезпека полягає в її суб'єктивній безсимптомності. Людина при цьому не відчуває загрожуючу їй небезпеку та не вживає заходів до того, щоб сповістити про своє самопочуття.

Таким чином, необхідно забезпечити не тільки відповідний захист органів дихання від проникнення до них продуктів горіння або надзвичайної ситуації з викидом небезпечної хімічної речовини, але й ізолювати їх.

Проте під час користування ізолюючими дихальними апаратами

треба мати на увазі і те, що надлишок кисню викликає збільшення кількості окисленого гемоглобіну і зниження кількості відновленого гемоглобіну. Саме відновлений гемоглобін здійснює транспортування вуглекислого газу, а зниження його вмісту в крові призводить до затримки вуглекислого газу в тканинах – *гіперкапнії*. Проявляється гіперкапнія у вигляді задишки, почервоніння обличчя, головного болю, судом і, нарешті, – втрати свідомості.

Надлишок кисню в організмі призводить до значних порушень у транспортуванні газів і пошкодження мембран клітин різних органів і тканин. Відомо, що не існує прихованого періоду при отруєнні киснем, оскільки біохімічні порушення починаються відразу ж зі збільшенням його парціального тиску в дихальній суміші. Кисневу інтоксикацію посилює важка фізична робота, переохолодження, перегрівання, вміст шкідливих газоподібних домішок у дихальній суміші, накопичення вуглекислоти в організмі, підвищена індивідуальна чутливість. Отруєння киснем може бути більш вираженим за наявності нейтрального газу.

Першими ознаками кисневого отруєння є оніміння пальців рук і ніг, сіпання м'язів обличчя (особливо губ) і повік, відчуття неспокою. Потім досить швидко наступають загальні судоми і втрата свідомості. Якщо потерпілого не буде піднято на поверхню, напади судом стають все частішими і довшими, а проміжки між ними зменшуються. За швидкого підвищення парціального тиску кисню напади загальних судом зі швидкою втратою свідомості можуть наступити раптово, без появи початкових ознак отруєння.

Видно, що кисневе отруєння є характерним для умов користування ізолюючими апаратами під водою, внаслідок чого там необхідно дотримуватись спеціальних вимог для забезпечення безпеки.

1.4. Кількісні показники, що характеризують процес дихання

Процес дихання характеризується великою кількістю різноманітних показників, найбільш важливими з яких є частота дихання, життєва ємність легень, легенева вентиляція, мертвий простір, газообмін у легенях людини, доза споживання кисню.

Частота дихання (f) людини визначається кількістю повних дихальних рухів (вдихів та видихів), здійсненою в одиницю часу. Частота дихання не є постійною величиною і залежить від декількох чинників. Вона збільшується з підвищенням навантаження на людину і залежить від ступеня її тренуваності. При цьому частота дихання у нетренованої людини, залежно від фізичного навантаження, збільшується в більшій мірі, ніж у тренуваної. Крім того, частота дихання залежить від статі і віку людини.

Залежно від ступеня важкості робіт, виконуваних у протигазах, усі види робіт (вправ) поділено на 4 групи: легка, середня, важка, дуже важка. При конструюванні та випробуваннях ізолюючих апаратів виходять з таких показників частоти дихання:

- повний спочинок – 15 дихальних циклів у хвилину;
- робота середньої важкості – 20 дихальних циклів у хвилину;
- робота важка – 25 дихальних циклів у хвилину;
- дуже важка робота – 30 дихальних циклів у хвилину.

Одним з основних параметрів, який характеризує вентиляційну функцію легень, є об'єм одного вдиху (видиху), або *дихальний об'єм V_d* . За спокійного стану людина вдихає та видихає близько 0,5 літра повітря. Зі збільшенням навантаження дихальний об'єм повітря зростає.

Людина у змозі недовгий час свідомо міняти звичайну частоту та глибину дихання, припиняти (тамувати) дихання і робити окремі максимально можливі вдихи та видихи. Максимальна кількість повітря,

яка може поступити в легені після звичайного вдиху, називається *додатковим об'ємом вдиху* $V_{\text{дод}}$. Для дорослої людини він становить в середньому 1,5 л. Максимальна кількість видихуваного повітря після звичайного видиху називається *резервним об'ємом видиху* $V_{\text{рез}}$. Крім того, після максимального видиху в легенях людини залишається ще 1–1,5 л повітря (так зване *залишкове повітря* $V_{\text{зал}}$).

Сума об'ємів дихального, додаткового та резервного повітря називається *життєвою ємністю легень* (**ЖЄЛ**). **ЖЄЛ** показує об'єм повітря, яке людина здатна видихнути з легень після глибокого вдиху, та характеризує її фізичний розвиток. За більшого значення **ЖЄЛ** органи дихання можуть забезпечити виконання більш інтенсивної та тривалої фізичної роботи. У нетренованої дорослої людини **ЖЄЛ** (її визначають за допомогою спірометра) у середньому дорівнює 3,5 л, у тренованої – близько 5 л (тобто дихальний мішок регенеративного дихального апарата не повинен мати корисну місткість менше 5 л), але може бути і більше. Таким чином, ізолюючий апарат повинен забезпечити вдих, який дорівнює **ЖЄЛ**. Це здійснюється за рахунок запасу газоповітряної суміші і подачі додаткової кількості повітря легенеvim автоматом.

Перевищення **ЖЄЛ** (6 л і більше) є небажаним для роботи людей у регенеративних дихальних апаратах, тому що при цьому протигаз повинен мати збільшену корисну ємність дихального мішка, а також відповідні, габарити і масу.

Найбільш поширеною і важливою характеристикою вентиляційної функції легень, яку використовують у більшості розрахунків, пов'язаних з обґрунтуванням вимог до створення та експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання, є *легенева вентиляція* ω_d . Вона визначається Q кількістю повітря, що циркулює в легенях за одиницю t часу

$$\omega_l = \frac{Q}{t}. \quad (1.8)$$

Оскільки це об'ємна кількість повітря, що протягом t хвилини вдихає або видихає людина, то легенева вентиляцію іноді розглядають як результат множення частоти дихання f на дихальний об'єм V_o повітря

$$\omega_l = f \cdot V_o. \quad (1.9)$$

У стані спокою доросла людина робить 15–18 дихальних рухів (дихальних циклів) у хвилину, дихальний об'єм (або глибина дихання) у цьому випадку дорівнює близько 0,5 л, а легенева вентиляція, відповідно, 7–9 л/хв. При фізичному навантаженні, яке супроводжується прискоренням окислювальних процесів у тканинах та підвищенням їх потреби в кисню, показники всіх трьох параметрів підвищуються. Дуже важке фізичне навантаження характеризується частотою дихання до 40–45 хв⁻¹, об'ємом 3,5–4 л та легеневою вентиляцією до 150 л/хв. (останній показник, до речі, зумовлює тактико-технічні вимоги до легневих автоматів резервуарних та регенеративних апаратів).

У той час, за нормами **Системи стандартів безпеки праці (ССБП)** легенева вентиляція під час роботи в засобах індивідуального захисту органів приймається:

- повний спокій – 12,0 л/хв;
- робота середньої важкості – 30,0 л/хв;
- важка робота – 60,0 л/хв;
- дуже важка робота – 84,0 л/хв.

Деяке розходження з наведеним раніше пояснюється особливостями дихання та роботи в апаратах. Так, навіть перебування в апараті у стані повного спокою дещо збільшує частоту дихання, а дуже велике фізичне

навантаження не може здійснюватись протягом часу, який перевищує декілька хвилин. Тобто дуже важка робота являє собою чергування дуже великого фізичного навантаження та навантаження середнього рівня.

Збільшення вентиляції легень відбувається як за рахунок збільшення частоти дихання, так і за рахунок збільшення глибини дихання. Проте на увазі слід мати, що за незначного збільшення числа вдихів можна цілком використовувати *ЖЄЛ*. За більшого підвищення частоти дихання можливість використання *ЖЄЛ* знижується. Звідси випливають дві важливі особливості, котрі необхідно враховувати при роботі в ізолюючих апаратах.

По-перше, до цієї роботи слід залучати осіб, які добре підготовлені з фізичного боку і мають малу частоту дихання. Надмірне збільшення вентиляції легень під час роботи в апаратах є небажаним. Тому під час роботи в ЗІЗОД необхідно стежити за частотою дихання та, за значного її збільшення, робити паузи в роботі з тим, щоб знизити розміри легеневої вентиляції.

По-друге, показник легеневої вентиляції $\omega_{\text{л}}$ береться за основу при визначенні часу роботи в ЗІЗОД. У розрахунках часу роботи газодимозахисників у регенеративних дихальних апаратах приймається, що вони виконують роботу середньої важкості, чергуючи важку або дуже важку роботу, якщо така має місце, з відпочинком. Тобто $\omega_{\text{л}} = 30 \text{ л/хв}$. Робота в апаратах на стиснутому повітрі, які мають більшу вагу і значно менший час захисної дії, ніж регенеративні, являє собою чергування важкої роботи з роботою середньої важкості. При цьому значення легеневої вентиляції приймається $\omega_{\text{л}} = 40 \text{ л/хв}$.

Мертвий простір визначається об'ємом повітря, який не бере участі у процесі газообміну. Мертвий простір складається з мертвих просторів людини і безпосередньо апарата. Мертвий простір людини дорівнює сумі

об'ємів повітря, що залишається в носовій порожнині, гортані, трахеї, бронхах і бронхіолах при видиху. Об'єм мертвого простору в дорослої людини є досить великим і становить в середньому *140 мл*. Кожний апарат має свій мертвий простір. За вимогами ССБП, об'єм мертвого простору протигазів не повинен перевищувати під час користування дихальною маскою *200 мл*.

Оскільки повітря, що не бере участі у процесі газообміну, містить мало кисню й у значній мірі забруднене вуглекислим газом, воно шкідливо відбивається на процесі дихання. Тому мертвий простір іноді називають *шкідливим простором*.

Процес газообміну в легенях людини, який визначається складом вдихуваного та видихуваного повітря, було розглянуто у розділі 1.1.

Важливою характеристикою, особливо під час розгляду регенеративних дихальних апаратів, є доза q споживання кисню, яка визначається споживанням кисню ω_s , який поглинає людина з повітря. Кількість визначається як результат помноження легеневої вентиляції на долю відбору кисню S_0 людиною у процесі дихання (S_0 ще називають *коефіцієнтом відбору кисню з дихальної суміші*):

$$q = \omega_s = \omega_n \cdot S_0. \quad (1.10)$$

Споживання кисню є похідною від частоти серцевих скорочень в особи, яка виконує роботу, і характеризується даними, які приведено в таблиці 1.8. Для газодимозахисників, які працюють у регенеративних дихальних апаратах, доза споживання повітря оцінюється в середньому як при виконанні роботи середньої важкості. Тому для таких апаратів захисту постійна подача, яка дорівнює дозі споживання кисню

$$q = \omega_{\text{л}} \cdot (S_{\text{вдод02}} - S_{\text{видод02}}) = 30 \cdot 0,0455 = 1,365 \text{ [л/хв]}, \quad (1.11)$$

де, $S_{\text{вдод02}} \approx 0,2095$ – доля кисню у вдихуваному повітрі;

$S_{\text{видод02}} \approx 0,164$ – доля кисню у видихуваному повітрі,

приймається в межах $1,4 \pm 0,2$ л/хв.

Оцінки деяких видів робіт, пов'язаних з пересуванням газодимозахисників, із різним ступенем важкості наведено в табл. 1.8.

Взаємозв'язок кількісних показників дихання, до яких необхідно віднести також і об'ємну швидкість виділення вуглекислого газу ω_{CO_2} (л/хв), об'ємну швидкість поглинання (споживання) кисню ω_{O_2} (л/хв) та дихальний коефіцієнт $K_{\text{д}}$, які було розглянуто в 1.1, зумовлює дихальні режими (див. табл.1.9). При цьому головною при визначенні дихального режиму є об'ємна швидкість виділення вуглекислого газу ω_{CO_2} , яка характеризує рівень енергетичного обміну в організмі.

Таблиця 1.8 – Доза споживання кисню чоловіком

Ступінь важкості роботи	Споживання кисню, л/хв	Частота серцевих скорочень	Дихальний коефіцієнт, $K_{\text{д}}$	Енерговитрати, Вт
Легка (2-й режим)	До 1,0 (0,47)	85–100	0,85	164
Середня (5-й режим)	1,0-1,5 (1,14)	100–125	0,88	398
Тяжка (10-й режим)	1,5-2,0 (2,22)	125–150	0,9	775,6
Дуже тяжка (15-й режим)	більше 2,0 (3,16)	150–170	0,95	1103

Примітка Значення, які наведено в дужках, подані за вимогами ССБП при

відповідному режимі.

Таблиця 1.9 – Сукупність дихальних режимів

Параметр	Значення параметра	Номер дихального режиму j														
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й	13-й	14-й	15-й
ω_{CO_2} , л/хв.	основний	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
ω_l , л/хв.	збільшений	7	12,5	$\omega_l = 6 \cdot j$								$\omega_l = 60 + 5 \cdot (j - 10)$				
	основний	6	10,5	$\omega_l = 5 \cdot j$								$\omega_l = 50 + 4 \cdot (j - 10)$				
	зменшений	5	8,5	$\omega_l = 4 \cdot j$								$\omega_l = 40 + 3 \cdot (j - 10)$				
K_o	збільшений	$K_o = 0,95 + 0,005 j$										$K_o = 1 + 0,1 \cdot (j - 10)$				
	основний	$K_o = 0,85 + 0,005 j$										$K_o = 0,9 + 0,1 \cdot (j - 10)$				
	зменшений	$K_o = 0,75 + 0,005 j$										$K_o = 0,8 + 0,1 \cdot (j - 10)$				
f , хв. ⁻¹	збільшений	20			25		30					35				
	основний	15			20				25				30			
	зменшений	10			15					20				25		

В табл. 1.9 наведено або кількісні значення, або формули для розрахунку трьох параметрів (ω_l, K_o, f) кожного режиму. З таблиці видно, що для кожного дихального режиму є можливими сім комбінацій значень ω_l, K_o та f . Одна з них відповідає основному значенню – це *основний дихальний режим*. Інші шість комбінацій відповідають збільшеному або зменшеному значенню одного з трьох параметрів – це *додаткові дихальні режими*. Таким чином система містить 15 основних та 90 додаткових дихальних режимів, які охоплюють діапазон дихання людини як за енергетичним рівнем, так і за індивідуальним відхиленням окремих параметрів.

З іншого боку, оскільки енерговитрати організму P_A , виходячи з калоричного еквівалента кисню (за стандартних фізичних умов), можуть бути розраховані як

$$P_E \approx 350 \cdot \omega_{\text{л}} = 350 \cdot \frac{\omega_{\text{CO}_2}}{K_{\text{д}}}, \quad (1.12)$$

то кожному дихальному режиму відповідає певний рівень енерговитрат, що характеризують важкість виконуваних робіт (табл.1.10).

Таблиця 1.10 – Залежність рівня енерговитрат від виконуваної роботи

Режим	Енерговитрати, Вт	Характеристика стану людини, виду та важкості фізичного навантаження
1	80	Спокій у положенні лежачи, основний обмін речовин та енергії
2	160	Відпочинок газодимозахисника, який є включеним в ізолюючий апарат
5	400	Робота середнього ступеня важкості. Основне розрахункове та випробувальне навантаження для регенеративних дихальних апаратів
6	475	Вихід в ізолюючому апараті з місця аварії. Основне розрахункове та випробувальне навантаження для ізолюючих апаратів.
10	775	Важка рятувальна робота, яка вимагає періодичного зменшення навантаження та відпочинку
12	910	Надсильне навантаження для виходу в ізолюючому апараті з місця надзвичайної

		ситуації
15	1100	Дуже важка рятувальна робота, яка може виконуватись короткочасно та повторюватись після відпочинку.

Запропонована система дихальних режимів реалізується як під час приймання нових зразків ізолюючих апаратів, так і під час виконання дослідних робіт при створенні нових дихальних апаратів. Практично дихальні режими реалізуються під час випробувань ізолюючих дихальних апаратів на установці «Штучні легені» (див. розд. 8.3).

Контрольні запитання до глави 1:

1. Які основні фази виділяють у процесі газообміну в організмі людини?
2. В чому полягає сутність процесу газообміну, який має місце в легенях людини під час зовнішнього дихання?
3. Який вплив має кисень на організм людини?
4. Якими важливими показниками характеризується процес дихання?
5. Чим визначаються легенева вентиляція і частота дихання?
6. Якими є нормовані показники легеневої вентиляції та частоти дихання?
7. Чим визначається мертвий простір?
8. Як доза споживання кисню пов'язана з легеневою вентиляцією?
9. Що таке дихальна система в організмі людини?
10. На що вказує закон Бойля-Маріотта?
11. Дайте характеристику азоту та його впливу на організм людини.
12. Дайте характеристику вуглекислого газу та його впливу на організм людини.
13. Що являє собою дим?
14. Що таке ГДК шкідливих речовин?

ГЛАВА 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

2.1. Забезпечення захисту людини від навколишнього середовища

Необхідність захисту органів дихання людини від несприятливого впливу зовнішнього середовища існує в різноманітних галузях народного господарства. У горногазорятувальній і пожежно-рятувальній справах застосовуються для роботи в непридатній для дихання атмосфері різноманітні дихальні апарати, призначені для роботи людини в атмосфері, зараженій отруйними речовинами у високих концентраціях або такій, що містить недостатню кількість кисню. Інші типи дихальних апаратів застосовуються також у водолазній справі як так звані легкі водолазні прилади. Застосовуються вони й у медицині – для кисневої терапії, головним чином для ліквідації приступів ядухи. Велике застосування такі апарати мають в авіації для забезпечення нормального дихання екіпажів літаків, у космічній та підводній техніці, інших галузях народного господарства.

Функціями повної системи життєзабезпечення є створення штучного газового середовища для нормального дихання, оптимальних або допустимих умов мікроклімату, забезпечення їжею і водою, а також видалення продуктів життєдіяльності. У практичній діяльності людини, коли вона перебуває в несприятливих умовах навколишнього середовища протягом робочої зміни або її частини, застосовуються неповні системи життєзабезпечення, які служать лише для колективного або індивідуального забезпечення дихання, або, за прийнятою термінологією, для захисту органів дихання.

Саме такі апарати і використовуються особовим складом пожежної

охорони для виконання оперативної роботи у непридатному для дихання середовищі. У той же час кожна погашена пожежа із застосуванням апаратів захисту органів дихання є своєрідним випробуванням для газодимозахисників, тому що вимагає від особового складу мобілізації усіх сил, знань, досвіду, дає можливість перевірити якість підготовки до роботи у складних умовах. Однією з головних у загальному комплексі спеціальних служб Державної служби України з надзвичайних ситуацій є газодимозахисна служба, основними завданнями якої є:

- рятування людей;
- проведення розвідки і гасіння пожеж у непридатному для дихання середовищі;
- евакуація матеріальних цінностей;
- створення нормальних умов, що забезпечують безпечну роботу особового складу підрозділів пожежної охорони й аварійно-рятувальних бригад.

Останнім часом різко змінилися умови, в яких випадає працювати газодимозахисникам. Зокрема у сучасних умовах розвитку у різноманітних галузях народного господарства все більше використовуються нові і, часом, надзвичайно небезпечні речовини і матеріали, особливо синтетичні і полімерні, при горінні яких виділяються токсичні та інші небезпечні для життя людей гази, різко зростає енергооснащеність виробництва, ускладнюються технологічні процеси. Все це впливає на час розвитку і локалізації пожеж. Так, у 22 % усіх погашених пожеж від подачі стволів до моменту локалізації проходить до 30 хвилин, а в 27 % – від 30 хвилин до одного часу.

Концентрація отруйних речовин у перші хвилини пожежі вище граничної в 12–100 разів. Середньооб'ємна температура в перші 5–6 хвилин пожежі може сягати 140–1600⁰С (безпечною для людини є температура 60⁰С). Швидкість поширення диму й отруйних речовин може

сягати до 20 м/хв. за вертикаллю. З цієї причини щорічно у світі гине близько 16 чоловік на 1 млн населення від диму і газів при пожежах, причому цей розмір має тенденції до подальшого зростання. Вже сьогодні число жертв у Швеції, Франції, США і ряді інших країн досягає 20–27 чол. на 1 млн населення. В Україні цей показник у 2011 р. перевищив 40 чол. на 1 млн населення.

Апарати захисту, які застосовуються в оперативно-рятувальних підрозділах, мають достатній час захисної дії. При вмілому користуванні ними нещасні випадки цілком виключаються, але, внаслідок того, що більшість шкідливих димів і газів, які утворюються на пожежі, проникають в організм людини через органи дихання, першочергова увага приділяється застосуванню відповідних засобів захисту дихальних органів від проникнення в них отруйних продуктів горіння.

Всі засоби, які використовуються для захисту людини від диму та токсичних газів, поділяють на *групові й індивідуальні*.

Груповий захист здійснюється шляхом зниження концентрації диму і газів у приміщенні. Його здійснюють таким чином:

- аерацією, тобто шляхом провітрювання приміщень за допомогою відкриття дверей, вікон або знесення конструкцій;
- використанням стаціонарних засобів захисту, тобто застосуванням промислових вентиляційних установок, газосховищ та ін.;
- використанням переносних (пересувних) засобів захисту, тобто застосуванням димовсмоктувачів, автомобілів димовилучення в комплексі з перемичками та ін.

Недоліком даних засобів є те, що природною вентиляцією не завжди досягається необхідна інтенсивність видалення диму. Промислова вентиляція також не завжди є ефективною, тому що не скрізь наявна достатня кількість отворів для необхідного припливу повітря. Більш ефективними у створенні достатньої кратності повітрообміну є

димовсмоктувачі й автомобілі димовилучення, що забезпечують нормальну концентрацію кисню у приміщеннях і зниження кількості шкідливих речовин до безпечних концентрацій.

Проте, слід мати на увазі, що при застосуванні даних засобів захисту не завжди забезпечується належний ефект (при інтенсивному виділенні диму або газів), а в окремих випадках приток свіжого повітря в помешкання, що горить, може сприяти посиленню горіння.

В окремих випадках при притоці свіжого повітря у приміщення, у яких відбувався процес неповного згорання речовин, є небезпека утворення вибухонебезпечних концентрацій із наступним вибухом їх сумішей (сауни і т.д.).

У практиці широко застосовним є засіб групового захисту методом осадження диму і шкідливих газів, що здійснюється застосуванням:

- дрібнодисперсної води, одержуваної через тонкорозпорошуючі стволи, що працюють від насосів високого тиску (застосовується для газів, розчинних у воді);

- розпорошеного абсорбенту, здатного поглинати з об'єму приміщень шкідливі гази і пари, зменшуючи їх концентрацію до безпечних значень;

- електричного поля, що дозволяє видаляти з помешкання заряджені частки диму з адсорбованими його поверхнею шкідливими речовинами.

Сфера застосування групових засобів захисту визначається об'єктивними критеріями, більшість з яких не відображає таких специфічних ознак оперативної роботи рятувальників, як автономне та самостійне розв'язання ними окремих під завдань у рамках досягнення загальної мети, яка може постати перед відповідним підрозділом (караулом, відділенням, ланкою).

Дані досліджень свідчать про те, що в розрахунку на 1 тис. чоловік,

які загинули під час пожеж на промислових об'єктах, небезпечні чинники розподіляються таким чином: відкритий вогонь, підвищена температура навколишнього середовища, предметів – 26,1 %, токсичні продукти горіння, дим і знижена концентрація кисню – 66,1 %, частини конструкцій та агрегатів, які впали; небезпечні чинники вибуху – 5,9 %. При цьому кількість постраждалих (травмованих) від впливу небезпечних чинників пожежі в 3–5 разів більше.

У той же час при чіткому дотриманні правил техніки безпеки при роботі на пожежах в ізолюючих апаратах нещасливі випадки з особовим складом пожежно-рятувальних підрозділів можуть бути цілком виключені, оскільки можуть мати місце внаслідок:

- порушення вимог правил техніки безпеки під час роботи в ізолюючих апаратах (вмикання в апарат без оперативної перевірки, вимикання з апаратів не на чистому повітрі, робота в апаратах захисту не у складі ланки та ін.);

- халатного ставлення до обслуговування апаратів (невчасне та неякісне проведення перевірок і регулювань);

- незнання конструкції застосовуваного апарата і невміння користуватися ним (невміння визначити ознаку, причину і соцієб усунення несправності, що виникла під час роботи).

2.2. Класифікація та вимоги до комплексу засобів індивідуального захисту (КЗІЗ)

Рятувальники та пожежні під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт використовують різноманітні *засоби індивідуального захисту шкіри (ЗІЗШ)*. Вони застосовуються з тим, щоб не допустити ураження шкірних покривів людини небезпечними хімічними, радіоактивними або біологічними речовинами, захистити її від високих та

низьких температур, відкритого полум'я, пилу, бруду та інших вражаючих та шкідливих виробничих факторів.

Залежно від призначення ЗІЗШ поділяються на класи та види. Клас **«костюми ізолюючі»** поділяється на види: пневмокостюми гідроізоляційні костюми, скафандри. Клас **«одяг спеціальний захисний»** - на види: кожухи, пальто, півпальто, кожушки, накидки, плащі, півплащі, халати, костюми, куртки, сорочки, брюки, шорти, комбінезони та ін. Клас **«засоби захисту комплексні»** підрозділів не має.

Залежно від захисних властивостей можна дати класифікацію захисного одягу за групами: від підвищеної температури, контакту з нагрітою поверхнею, токсичних речовин, кислотних і лужних розчинів та ін. Залежно від роду діяльності в оперативно-рятувальних підрозділах можуть використовуватись будь-які класи та види одягу, які мають потрібні захисні властивості.

Захисні костюми поділяють на три групи. Перша – герметичні костюми з інтегрованою лицевою частиною та ізолюючим апаратом всередині або ззовні костюма. Друга – з великим оглядовим склом та дихальним апаратом всередині. Третя – з відкритою лицевою частиною, яка закривається маскою дихального апарата.

Костюми всіх груп виготовляються з герметичною блискавкою, хімічно стійкими чоботами з металевою вставкою, що підвищує їх стійкість. Захисні рукавички герметизуються додатковими гумовими джгутами на кільцях-манжетах рукавів. Так, в костюмах французької фірми «VIN» такі кільця-манжети виконані з ущільнювачем, який забезпечує герметизацію таким чином, щоб захисні рукавички, якщо треба, легко можна було зняти й вдягти самостійно. Це особливо важливо в ситуаціях, коли рятувальник діє самостійно.

Інтегровані лицеві маски костюмів, як правило, аналогічні маскам дихальних апаратів, що герметично монтуються в костюмах. Проте слід

відмітити і варіант маски з великим кутом огляду, запропонований, наприклад, фірмою “VIN”. Однозначно сказати, вдале це рішення чи ні, не можна, оскільки в ньому є і свої переваги, і свої недоліки: з одного боку, в такій масці значно збільшено кут огляду, є можливість розмістити в ній мініатюрну відеокамеру для передачі на командний пункт відеоінформації; з іншого – в неї великий момент інерції, і під час повертання голови маска дихального апарата може злетіти з обличчя. До того ж, внаслідок збільшених габаритів, вона стає важчою.

Для підвищення захисних якостей повітря, яке видихає газодимозахисник, подається всередину костюма, створюючи там від’ємний тиск. Це суттєво зменшує проникнення туди навколишнього повітря, у тому числі й у випадку пошкодження костюма.

В костюмі з відкритою лицевою частиною повітря, яке видихається, викидається до навколишнього середовища, а всередину костюма повітря потрапляє з дихального апарата, тобто відбувається додаткова його витрата. В цьому типі захисного одягу для надійної герметизації лицевої частини кращим є обтюратор із гумовим джгутом, який надягається на лицеву частину дихального апарата, охоплює оглядове скло і щільно притискає маску до обличчя. Такий вдалий та надійний варіант реалізовано в костюмах PROFITEX німецької фірми "Ауергезельшафт". В костюмах з великим оглядовим склом воно, як правило, запотіває, внаслідок чого необхідно застосовувати гель або спеціальні плівки.

В інтегрованих лицевих масках цей недолік відсутній, оскільки повітря з балонів поступає охолодженим. Воно подається на оглядове скло, а потім, через клапан вдиху, – до внутрішнього обтюлятора, який під час видиху заповнюється теплим повітрям, і через клапан видиху лицевої частини потрапляє всередину костюма.

Тобто під час проведення робіт в осередках хімічного ураження задля забезпечення безпеки рятувальників використовують *комплекси*

засобів індивідуального захисту (КЗІЗ), які включають у себе засоби індивідуального захисту шкіри та засоби індивідуального захисту органів дихання. Залежно від принципу дії та умов використання КЗІЗ поділяють на три типи, які відрізняються рівнем захисних властивостей.

Комплекс ЗІЗ *першого типу* призначений для робіт, що проводяться в умовах максимально можливих концентрацій НХР, контакту з рідкою фазою речовин, а також, якщо це є необхідним, впливу відкритого полум'я. Вони рекомендовані для використання рятувальниками-професіоналами безпосередньо на аварійному об'єкті або поблизу від нього на відстанях менше 50 м від осередку зараження. КЗІЗ цього типу передбачають наявність у своєму складі ЗІЗШ та ЗІЗОД підвищеної герметичності, що забезпечують захист рятувальника при виливанні та впливі великих концентрацій небезпечних хімічних речовин. Є КЗІЗ першого типу з автономною системою життєзабезпечення.

КЗІЗ другого типу використовуються для робіт, виконуваних на відстані 50–500 м від осередку зараження при концентраціях НХР, на два-три порядки менших за максимальні. До складу цих комплексів входять захисні ізолюючі костюми та ЗІЗОД ізолюючого або фільтрувального типу.

Для короткочасного захисту від НХР та виходу із зони зараження у складі комплексів ЗІЗ першого та другого типу мають бути передбачені також засоби аварійного рятування (саморятувальники). Інколи для цього застосовують ЗІЗОД комбінованого (фільтрувально-ізолюючого) типу.

КЗІЗ третього типу рекомендовані для ведення робіт на відстанях 500–1000 м та більше від осередку зараження при можливих концентраціях, на 4–5 порядки менших за максимальні. До його складу входять захисний фільтрувальний костюм та респіратор або фільтрувальний протигаз.

Вибір КЗІЗ та порядок його використання відбувається залежн/ від

характеру та масштабів аварій (типу, кількості та агрегатного стану НХР, наявності пожежі, складу та умов проведення робіт, які необхідно виконати, та ін.).

2.3. Класифікація та принцип дії засобів індивідуального захисту органів дихання

Газодимозахисні апарати індивідуального користування одержали загальну назву “засоби індивідуального захисту органів дихання”. ЗІЗОД за своїм призначенням, принципом дії і технічними даними є різноманітними. Можна виділити п’ять основних ознак поділу ЗІЗОД (див. рис. 2.1).

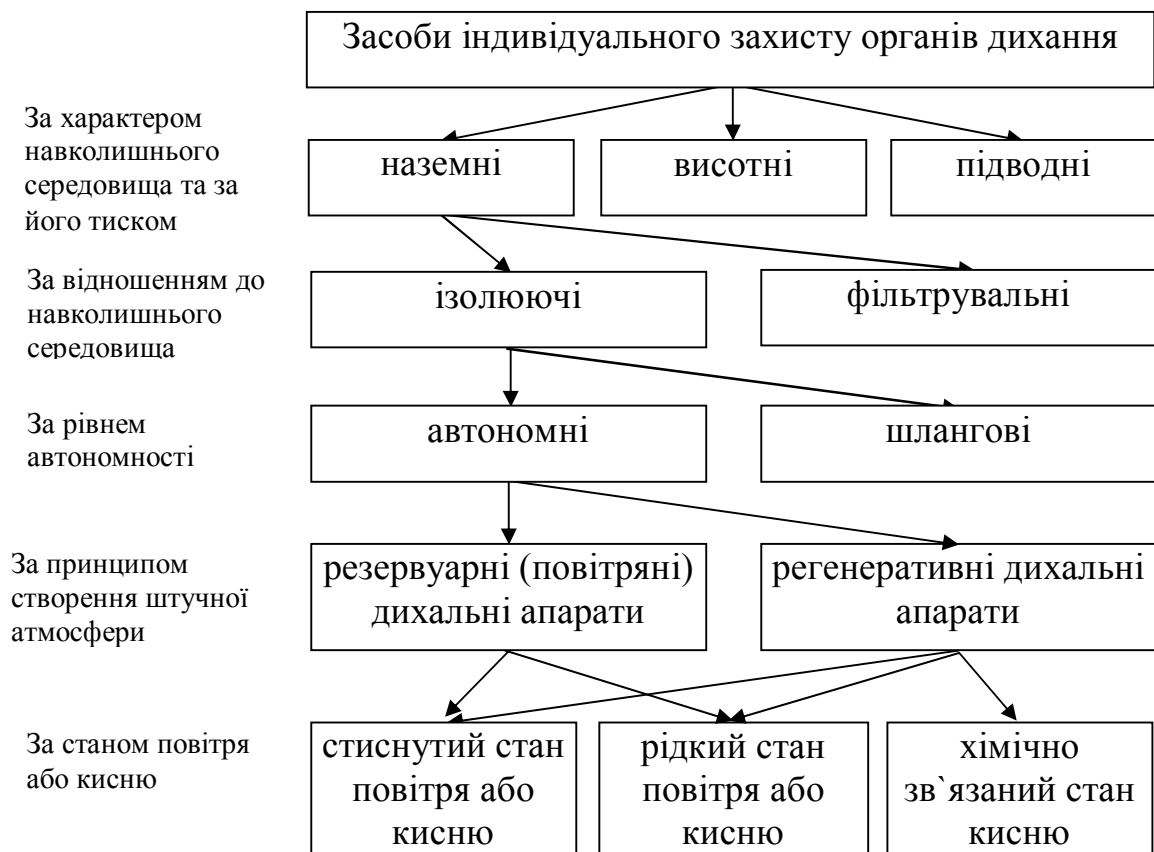


Рисунок 2.1 – Класифікація ЗІЗОД

За характером навколишнього середовища (газ або рідина) і за його

тиском ЗІЗОД поділяють на *наземні, висотні й підводні*. *Наземні* дихальні апарати застосовуються на поверхні та під землею за нормального атмосферного тиску з невеличкими його відхиленнями від середнього рівня (звичайно діапазон приймають 70–125 кПа). *Висотні* застосовують в основному в авіації (мінімальний тиск, якщо для дихання подається кисень без домішок, становить 7 кПа). *Підводні* дихальні апарати застосовують для водолазних робіт. Максимальна глибина занурення під воду, за умови дихання спеціальними киснево-гелієвими сумішами, на сьогодні перевищує 300 м.

Загальний принцип – захист органів дихання від проникнення в них отруйних продуктів горіння.

Ізолюючі дихальні апарати ізолюють органи дихання людини від навколишнього середовища і забезпечують дихання чистим повітрям або повітряно-кисневою сумішшю із самого апарата. В результаті цього дихання за допомогою ізолюючих ЗІЗОД є універсальним і не залежить від газового складу навколишнього середовища.

На відміну від ізолюючих ЗІЗОД, людина, що включилась у *фільтрувальний* дихальний апарат, дихає навколишнім повітрям, яке очищається в патроні фільтрувального апарата від шкідливого газу, групи газів або аерозолів. Застосовувані за методом фільтрації апарати називаються “респіраторами” (від латинського *respiratio* – дихання). Вони фільтрують вдихуване повітря від радіоактивних і отруйних речовин, пилу, бактеріальних засобів.

Принцип дії фільтрувальних протигазів полягає в тому, що забруднене домішками повітря проходить через фільтр, в якому очищається від домішок, і в очищеному виді надходить в органи дихання людини.

Залежно від призначення дані ЗІЗОД поділяють на:

- *протипилові* (ФП) – фільтрують повітря від різноманітних аерозолів

(дим, туман, пилю);

- *протигазові* (ФГ) – в них повітря фільтрується від парів та газоподібних забруднюючих речовин;

- *газопилозахисні* фільтрувальні протигази (ФГП) – повітря очищається від газів, парів і аерозолів різноманітних речовин.

Якщо вміст шкідливої домішки в повітрі є занадто великим, або фільтрувальний патрон не розрахований на поглинання даного газу, чи в повітрі недостатня кількість кисню, фільтрувальні ЗІЗОД не придатні для захисту дихання.

Будь-який *протипиловий* респіратор складається з фільтра для очистки забрудненого повітря й лицьової частини, за допомогою якої цей фільтр підключається до органів дихання. Вони можуть бути різноманітними за своєю конструкцією і формою, залежно від типу респіратора.

У сучасних високоефективних протипилових респіраторах фільтрація повітря від аерозолів являє собою непросте відсівання часток пористою перегородкою типу сита і є складним процесом осадження часток на волокна фільтрувального матеріалу.

Протигазові ЗІЗОД захищають органи дихання людини від різноманітних шкідливих речовин у виді парів і газів, а *газопилозахисні* використовуються для одночасного захисту від аерозолів і газів. Основним конструкційним вузлом цих ЗІЗОД є фільтрувальний елемент, спроможний поглинати, у першому випадку, парогазові речовини, а у другому – гази й аеродисперсні домішки. Поглинання газів і парів відбувається за рахунок фізико-хімічних процесів (адсорбції, абсорбції, хемосорбції, каталізу й ін.), що відбуваються у фільтрувальному елементі. Як адсорбенти використовують природні або штучні тіла з розвиненою поверхнею, що добре поглинає (адсорбує) речовини з повітря (активне вугілля, силікагелі, алюмогелі, алюмосилікатні каталізатори, іоніти тощо).

Найбільш широке застосування у протигазовій техніці одержали сорбенти у вигляді активованого вугілля різноманітних марок, що має високорозвинену поверхню. У *газопилозахисних* ЗІЗОД, крім сорбційних матеріалів, застосовується також протиаерозольний фільтр. Залежно від конструктивного виконання дану групу ЗІЗОД поділяють на *респіратори, протигази і саморятувальники*. У промислових протигазах як лицьова частина використовується шолом-маска або маска, а фільтрувальний елемент виконано у вигляді протигазової коробки різноманітної конструкції, заповненої шихтою.

Метод ізоляції застосовується для захисту від шкідливої дії продуктів горіння, склад яких заздалегідь не відомий. Сутність методу ізоляції полягає в тому, що дихальні органи людини цілком ізолюються від навколишнього середовища. Ізолюючі апарати можуть бути як *автономними*, так і *неавтономними (шлангові)*.

Автономні дихальні апарати забезпечують подачу дихальної суміші з власного, індивідуального джерела повітропостачання, знаходяться при людині і дозволяють їй переміщатися в будь-якому напрямку на необхідну для рятувальних операцій відстань.

У *шлангових* дихальних апаратах подача повітря, придатного для дихання, здійснюється ззовні робочої зони по шлангу невеличкої довжини, що обмежує рухливість (ще в 1785 р. французькі конструктори запропонували всмоктувальний шланг довжиною 40 м як засіб захисту органів дихання). Шлангові апарати поділяються на самоусмоктувальні, в яких чисте повітря всмоктується за рахунок легень людини, із примусовою подачею повітря за допомогою повітрорудки та з подачею стиснутого повітря від компресора. Переваги всіх цих апаратів – простота конструкції і невелика маса спорядження, що надівається на людину.

Шлангові протигази першими стали поширеними в пожежній охороні на початку ХХ сторіччя. Найбільш простий із них – шланговий

самоусмоктувальний протигаз, що має маску та приєднаний до неї шланг, другий кінець якого знаходиться на свіжому повітрі. Вони можуть захищати органи дихання людини як в атмосфері, що містить шкідливі гази у великих концентраціях, так і в атмосфері, в якій недостатньо кисню. Шлангові протигази є найбільш зручними для здійснення тривалих робіт на невеликій відстані від свіжого повітря. Час дії цих апаратів захисту не обмежений. На сьогодні шлангові протигази цілком витіснені резервуарними та регенеративними апаратами захисту.

В *регенеративних* апаратах атмосфера для дихання створюється за рахунок регенерації видихуваного повітря шляхом поглинання з нього вуглекислого газу і додавання кисню з наявного в апараті запасу, після чого регенероване повітря поступає на вдих. Таку схему дихання називають “закритою”.

Принцип роботи регенеративного дихального апарата:

- замкнута ізольована система (закрита система дихання);
- очищення повітря, яке видихнув газодимозахисник, від вуглекислого газу;
- перемішування очищеного повітря з киснем, що додатково надійшов.

Важливим різновидом регенеративних дихальних апаратів є *ізолюючі апарати на хімічно зв'язаному кисню*. Їх особливістю є те, що процес очищення від вуглекислого газу відбувається за рахунок відповідної хімічної реакції одночасно з виділенням достатньої кількості кисню. Тобто *принцип роботи апаратів на хімічно зв'язаному кисню:*

- замкнута схема дихання;
- додавання достатньої для відновлення газоповітряної суміші кількості кисню, яка з'явилась у результаті хімічної реакції поглинання вуглекислого газу, який видихнув газодимозахисник.

В *резервуарних* апаратах весь необхідний для вдиху запас повітря

зберігається у стисненому (це так звані апарати на стисненому повітрі) або рідкому стані, а видих здійснюється в атмосферу. Така схема дихання називається “відкритою”. Ця принципова відмінність від регенеративних ЗІЗОД веде до того, що запас газу для дихання в резервуарних апаратах має бути більше, ніж запас кисню в регенеративних, у 20–25 разів.

Під час роботи повітря для дихання (на вдих) подається за допомогою легеневого автомата, а видих витраченого повітря здійснюється в навколишнє середовище. При цьому виключена ймовірність перемішування видихуваного повітря з вдихуваним або повторне його використання, як це відбувається в апаратах із замкнутою схемою дихання.

Таким чином, *принцип роботи резервуарних дихальних апаратів:*

- відкрита схема дихання;
- легенево-автоматична подача повітря на вдих.

Інколи легенево-автоматичну подачу ще називають пульсуючою.

Важливим показником автономних апаратів є питомий час захисної дії, який являє собою час захисної дії, що припадає на 1 кг маси апарата. Для резервуарних дихальних апаратів він становить 4–6 хв./кг, тоді як для регенеративних – 18–24 хв./кг.

Окремо необхідно відмітити, що серед резервуарних апаратів також існують так звані *комбіновані* апарати (наприклад, ШАП-62, АВМ-3, AUER BD96 mini), в яких повітря подається залежно від місця оперативної роботи спочатку по шлангах (як у шлангових апаратах), а потім (або у випадку розриву шлангу) – з балона.

Контрольні запитання до глави 2:

1. За допомогою чого здійснюється груповий захист людей від диму та токсичних газів?
2. Яким чином може здійснюватися осадження диму і шкідливих газів?

3. На які види поділяється клас «костюми ізолюючі»?
4. Для ведення яких робіт призначений комплекс засобів індивідуального захисту першого типу?
5. Для ведення яких робіт призначений комплекс засобів індивідуального захисту другого типу?
6. Для ведення яких робіт призначений комплекс засобів індивідуального захисту третього типу?
7. В чому полягає загальний принцип засобів індивідуального захисту органів дихання?
8. В чому полягає принцип дії фільтрувальних протигазів?
9. Яким є принцип роботи шлангових дихальних апаратів?
10. Розкрийте принцип роботи регенеративного дихального апарата.
11. Розкрийте принцип роботи апаратів на хімічно зв'язаному кисню.
12. Розкрийте принцип роботи резервуарних дихальних апаратів.

ГЛАВА 3. ПРИНЦИПОВІ СХЕМИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ДИХАЛЬНИХ АПАРАТІВ

3.1. Фільтрувальні протигази

3.1.1. Історія створення

Вперше прототип сучасного фільтрувального протигаза було створено **братами Бану Муса** в дев'ятому сторіччі в Багдаді (Ірак) для захисту працюючих в забруднених свердловинах. У шістнадцятому столітті **Леонардо да Вінчі** запропонував використовувати тонко сплетену тканину, змочену у воді, для захисту моряків від токсичних вихлопів порохової зброї. Примітивні матер'яні респіратори, впровадженням яких займався в 1799 році **гірський інженер Олександр фон Гумбольдт**, використовувались шахтарями в Пруссії.

Серед перших протигазів, які використовувалися для захисту для небезпечних речовин, що мають бактеріологічну природу, був прилад (**респіратор**) **професора О.І. Догеля**, який в 1879 році, спираючись на органічну природу чуми, запропонував руйнувати органічні речовини, які знаходяться в повітрі, яке видихає людина. В основу захисної дії приладу Догеля були закладено два принципи: термічний і хімічний. Небезпечні органічні речовини знищувались, проходячи через розпечену трубку або спеціальний фільтр, який являв собою послідовність судин із рідинами (сірчана кислота, хромовий ангідрид, їдкий калій), які знешкоджують білок та є здатними взаємно нейтралізувати власні крапельки, що потрапляють у вдихуване повітря, або ящик із кількома шарами вати, змоченої дезінфікуючою рідиною. Повітря накопичувалося й охолоджувалося у спеціальному резервуарі, який лікар повинен був носити у себе за спиною, «стикаючись із хворим або померлим від чуми».

12 червня 1849 р. американське патентне бюро видало **Льюїсу Хаслетту (Lewis Haslett)** перший патент на **конструкцію протигаза**. Його винахід називався «легеневим протектором» і складався з блока із клапанами на вдих-видих і повстяного фільтра, що приєднувався безпосередньо або через трубку до цього блока. Останній міг кріпитися до носа або рота. Через рік **шотландському хіміку Джону Стенхаусу** прийшла в голову думка використовувати у протигазі як фільтр деревне вугілля.

Удосконалили конструкцію цього протигаза вже під час Першої світової війни, коли кайзерівська Німеччина вперше в історії людства застосувала бойові хімічні речовини. Першу газову атаку німці провели 22 квітня 1915 на німецько-французькому фронті. Загинули і стали інвалідами тисячі французів. Другу було організовано на Східному фронті проти російських військ. І знову загинули і отримали сильні отруєння тисячі воїнів.

Почалися активні пошуки надійного засобу, який би дозволяв нейтралізувати хімічну зброю ворога. Найбільших успіхів досяг визнаний у Росії і за кордоном фахівець у галузі органічної хімії **Микола Дмитрович Зелінський**. За короткий термін він провів дослідження з фізичної адсорбції й обґрунтував принцип захисту від смертоносного газу. Вчений довів, що термічно оброблене березове вугілля своєю поверхнею надійно поглинає отруйні речовини. На основі теоретичних і експериментальних даних професора Зелінського **інженер Куммант** створив **маску з гуми**, яка герметично облягала обличчя і забезпечувала надходження потоку повітря для дихання тільки через фільтрувальний елемент. На виготовлення реального протигаза пішло чотири місяці. А всього за війну, починаючи з 1916 року, в діючу армію було відправлено 11 мільйонів протигазів.

На жаль, після закінчення Першої світової війни людство не

заборонило виробництво бойових отруйних речовин. У багатьох країнах фахівці ретельно взялися працювати над удосконаленням хімічної зброї – стали з'являтися все нові й нові отруйні речовини. Природно, удосконалювалися і засоби захисту від них. **Вугільний фільтр Зелінського** доповнився протиаерозольними фільтрами, каталізаторами, хімічними поглиначами.

Нові протигазы надходили на озброєння Радянської Армії, буквально вся країна в той час готувалася відбивати можливі хімічні атаки ворога. Історики мають докази того, що фашистське командування мало намір, але так і не зважилося застосувати на радянсько-німецькому фронті бойові отруйні речовини. Німецькі експерти високо оцінювали засоби хімічного захисту радянських військ і побоювалися, що застосування газів у першу чергу завдасть шкоди самим гітлерівським військам.

Завершилася Друга світова. І знову почалася гонка зі створення зброї масового ураження людей. Не зупиняється у своєму «розвитку» і протигаз. Він стає універсальним і забезпечує захист органів дихання людини ще й від радіоактивного пилу та аерозолів, заражених хвороботворними бактеріями. Крім того, широке впровадження різної техніки у збройні сили держав світу сприяло появі такого індивідуального засоби захисту, в якому можна було б керувати різними механізмами, нести оперативне чергування, працювати з точними приладами. У результаті в СРСР був створений **протигаз нового покоління – ГП-7В** (див. рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Військовий фільтрувальний протигаз ГП-7В

Він навіть за зовнішнім виглядом істотно відрізнявся від своїх «попередників». Конструктори у процесі роботи над виробом пішли нетрадиційним шляхом і закріпили фільтрувальний елемент прямо на гумовій масці. Однак при випробуваннях виявилось, що міцність гуми є недостатньою і маска на ходу сповзає. Цю проблему було вирішено за рахунок зменшення ваги і розмірів коробки з фільтрувальним елементом за збереження всіх захисних властивостей і створення оригінального профілю гуми, який збільшував жорсткість окремих фрагментів, зберігаючи при цьому незмінними вагу й еластичність самої маски. Трапецієподібні вигнуті стекла збільшили спільне поле зору з 35–40 відсотків до 70. При диханні вони не запотівають, як у всіх попередніх зразках. У цьому протигазі зручно працювати з різними оптичними приладами.

Одна з переваг протигаса – спеціальний подвійний клапан видиху, який являє собою оригінальну конструкцію, що дозволяє значно зменшити зусилля людини при видиху. Цей клапан виявився набагато надійнішим за одноступінчасті, що застосовуються в зарубіжних зразках. Він не пропускає зовнішнє заражене повітря всередину маски навіть за великих

фізичних навантажень. Не випадково іноземні фахівці не раз намагалися копіювати його конструкцію.

У 1954 році в СРСР було поставлене завдання щодо створення надійного захисту від радіоактивних аерозолів. Протипилові респіратори з картонними фільтрами і важкими полумасками із грубої гуми, які застосовувались тоді, були незручними і малоефективними, а головне – через високий опір диханню в них неможливо було довгостроково працювати. Їх носили більше в кишені, ніж на обличчі. Тому вони не рятували від силікозу, який, в поєднанні із впливом радіонуклідів, був особливо згубним для гірників. На радіохімічних виробництвах, на додачу до всього вказаного, вони виявилися одноразовими, оскільки не піддавалися дезактивації. За основу нової технології був взятий відкритий **основоположником аерозольної науки Н.А. Фуксом** і розроблений в лабораторії **академіка І.В. Петрянова-Соколова** матеріал ФП, який володіє високим коефіцієнтом фільтрації. Завдання ускладнювалося відсутністю скільки-небудь придатного аналога легкого напівмаскового респіратора, що було пов'язано з м'якістю, малою товщиною і високою наелектризованістю полотна ФП. Помістити такий фільтр у коробку із системою повітроводів було б нескладно, але це знищило б саму ідею легкої фільтрувальної напівмаски, перетворивши її на громіздку конструкцію. В якійсь мірі прототипом послужив примітивний **«марлеватний респіратор» Кисельова і Гончарука**: товсте коло з шарів вати і марлі, стягнуте по краю трикотажною гумою. Він не володів ні достатньою ефективністю, ні задовільною обтюрацією на обличчі, ні низьким опором, але допоміг зробити вибір на користь круглого фільтра.

Сенсаційними для того часу виявилися визначені в лабораторних та експлуатаційних умовах параметри розробленого респіратора: коефіцієнт захисної ефективності – 99,9%; опір диханню при 30 л/хв. – 30 Па; обмеження огляду – 12%; маса – 10 г. Винахід захищено авторським

свідоцтвом № 19744 з пріоритетом від 22 липня 1955 р. на **респіратор ШБ-1 «Лепесток»**. Високі захисні, оптимальні фізіолого-гігієнічні показники, прийнятна для одноразового використання собівартість і, головне, термінова необхідність такого респіратора забезпечили його негайне впровадження. Конструкція виявилася настільки стабільною, що, пройшовши випробування часом, вона принципово не змінилася до цього дня (див. рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Респіратор «Лепесток – 200М»

3.1.2. Протипилові респіратори

Протипилові респіратори (див. рис. 3.3) являють собою полегшені засоби захисту органів дихання від різних аерозолів. Повітря вдихуване повітря очищається від аерозолів шкідливих речовин (дим, туман, пилю) шляхом фільтрації через спеціальні тонковолокнисті матеріали: ФПП-15, ФПП-70 і рулонний РФМ з волокнами з перхлорвінілу. Вони є гідрофобними, стійкими при температурі до 60° С, стійкими до кислот і лугів. Мають високу фільтрувальну здатність по відношенню до будь-яких

аерозолів. Це забезпечується однорідністю фільтрувального шару і наявністю електростатичних зарядів, які різко підвищують ефективність уловлювання аерозолів.



Рисунок 3.3 – Протипиловий респіратор

Ефективність фільтрації залежить від властивостей аерозолів та визначається характеристиками фільтраційних матеріалів.

Аерозолі – це дисперсні системи, що являють собою зважені в повітрі (або газі) частки твердих або рідких речовин. До аерозолів із твердою дисперсійною фазою відносяться пил і дим, а з рідкою дисперсійною фазою – мряка і туман. Існують також конденсаційні аерозолі, які утворюються за допомогою конденсації пари на твердих частках. Аерозолі умовно поділяють на *грубодисперсні й високодисперсні*.

До *грубодисперсних* відносяться аерозолі з діаметром часток від 1 мкм і більше (наприклад, більшість аерозолів отруйних речовин, бактеріологічних аерозолів, спори, інсектициди, радіоактивний та ґрунтовий пил і т.п.). *Високодисперсні* аерозолі містять частинки діаметром менше 1 мкм. Характерним прикладом високодисперсних аерозолів є деякі отруйні дими, віруси, рикетсії, конденсаційні аерозолі. Як правило, при вирішенні питань захисту органів дихання ми маємо справу з *полідисперсними* аерозолями, розміри часток яких розподілені в деякому діапазоні.

Аерозолі, які містять частки однакових розмірів, називаються

монодисперсними. Їх отримують спеціальними методами і використовують, зокрема, для тестування фільтрувальних матеріалів (наприклад, стандартний масляний туман).

Всі аерозольні системи є динамічно нестійкими системами, постійно перебувають під впливом зовнішніх і внутрішніх сил взаємодії між самими частками і частками та середовищем. Серед зовнішніх сил великий вплив має сила тяжіння, під дією якої відбувається падіння частинок у газовому середовищі. При цьому з боку газового середовища на них діє сила опору, яка врівноважує силу тяжіння, в результаті чого, починаючи з деякого моменту, частинки падають із певною постійною швидкістю. Крім цього, аерозольні частинки беруть участь у броунівському русі – безладному, випадковому зсуві під дією ударів молекул газового середовища. Ясно, що чим меншою є частка, тим більш різко вираженим є її броунівський рух. Для частинок $r = 1$ мкм середня швидкість броунівського руху в повітрі становить $5 \cdot 10^{-4}$ см/с. За зменшення розміру частинок до 0,5 мкм броунівське зміщення зростає, і для частинок розміром 0,3 стає сумірним зі швидкістю падіння. Внаслідок цього частки високодисперсного аерозолу практично не осідають і вільно переносяться в будь-якому напрямку. Висока рухливість аерозольних частинок призводить до їх частих зіткнень між собою, у результаті чого частинки під дією сил Ван-дер-Ваальса коагулюють (злипаються). При цьому рідкі частинки зливаються в одну, а тверді утворюють пухкі або щільні агрегати.

Таким чином, найбільш великі частки з аерозольної системи осідають під дією сили тяжіння, а найбільш дрібні, розміром у соті й тисячні частки мікрона, видаляються завдяки коагуляції з подальшим осадженням на різних поверхнях. Найбільш тривалий час у повітрі залишаються частки середнього розміру – близько 0,1–0,2 мкм. Ці частинки складають найбільшу частку у вільній атмосфері. Крім коагуляції, в аерозольних системах протікають також процеси

випаровування та конденсації. Особливо інтенсивно вони відбуваються для рідких аерозольних часток, що складаються з речовин з високою пружністю насиченої пари.

Дуже важливими параметрами аерозолів є також їх електричні та оптичні характеристики.

Крім вищевикладеного необхідно вказати ще на одну важливу особливість високотоксичних і радіоактивних аерозолів, яка полягає в тому, що ці аерозолі можуть супроводжуватися газоподібною фазою (парами) шкідливої речовини, яка міститься в частинках. Концентрація таких парів іноді може перевищувати гранично допустиму. До таких аерозольних систем відносяться аерозолі отруйних димів, небезпечні хімічні речовини (НХР), а також радіоактивні аерозолі, що містять леткі сполуки радіоактивних ізотопів йоду та деяких інших елементів. Ця особливість аерозолів істотно ускладнює очищення повітря і вимагає застосування комплексних методів, що забезпечують одночасне вловлювання як аерозольних часток, так і парів НХР та радіоактивних речовин.

Виходячи з цього, *фільтрувальні матеріали (ФМ)* являють собою пористі просторові структури, утворені при взаємному переплетенні волокон різної природи та розмірів. До таких матеріалів відносяться целюлозно - азбестові картони, полотна з тонких скляних волокон, полімерні фільтрувальні матеріали ФП (фільтри Петрянова).

Целюлозно-азбестові картони виготовляються зі спеціально оброблених сортів целюлози в суміші з надзвичайно тонкими волокнами азбесту, іноді з додаванням вовни, бавовни, скловолокна з чимось. Картони забезпечують високу ефективність уловлювання аерозолів, однак вони мають низьку еластичність, малу пилоємність і є нестійкими до вологи, що обмежує їх застосування в респіраторній техніці.

Скловолокнисті матеріали виготовляються з розтопленого

боросилікатного скла з діаметром волокон менше 1 мкм. Вони характеризуються порівняно високою ефективністю і великою пилоємністю, а також високою термо- та хімічною стійкістю. Проте істотним недоліком цих матеріалів є мала механічна міцність і крихкість волокон, що призводить до утворення скляного пилу. Через це скловолокнисті матеріали практично не застосовуються у фільтрувальних протигазах.

Найбільш високими фільтрувальними властивостями володіють *полімерні фільтроматеріали – фільтри Петрянова*. Ці матеріали мають високі еластичність, механічну міцність, велику пилоємність та хімічну стійкість. *Фільтри Петрянова* – це цілий клас волокнистих полімерних матеріалів. Вони являють собою рівномірні шари ультратонких волокон, нанесених на тканинну основу, наприклад, марлю.

Фільтроматеріали з тканини Петрянова розрізняються за складом полімеру, з якого їх виготовлено. У зв'язку з цим вони мають різне маркування і призначення. Фільтрувальним матеріалам, виготовленим із ПХВ або полістирольних волокон з високими діелектричними властивостями, можуть бути додані стійкі електростатичні заряди, які різко підвищують їх фільтрувальні властивості. Однак при тривалому зберіганні, стиску, експлуатації в умовах високої вологості і при дії іонізуючих випромінювань заряди з волокон стікають. Крім цього, порівняно високі фільтрувальні властивості таких матеріалів практично повністю зникають вже при швидкості фільтрації 10 см/с і більше. Все це призводить до зниження фільтрувальних властивостей цих матеріалів і обмежує їх застосування. На сьогодні фільтри Петрянова в основному використовуються в респіраторах.

Фільтрувально-сорбційні матеріали (ФСМ) – це матеріали зі суміщеними функціями шихти і фільтра. Вони характеризуються пористою просторовою структурою, утвореною за рахунок рівномірного

розподілу і закріплення в цих матеріалах структуроутворюючих, фільтрувальних і сорбуючих компонентів. Як структуроутворюючі компоненти у ФСМ можуть використовуватися волокна целюлози, віскози, бавовняні й полімерні волокна. Як фільтрувальні компоненти – скляні або азбестові волокна, а як сорбуючі компоненти – високодисперсні частинки активованого вугілля. ФСМ застосовуються в респіраторах і безкоробкових протигазах.

3.1.3. Протигазовий захист

В основі протигазового захисту за допомогою фільтрувальних протигазів (конструкцію протигазової фільтрувальної коробки наведено на рис. 3.4), як правило, або адсорбційне, або хемосорбційне поглинання небезпечних для людей газів (пари).



Рисунок 3.4 – Протигазова фільтрувальна коробка

Термін *фізична адсорбція* (або просто *адсорбція*) відноситься до різних за своєю природою і механізмом явищ поглинання. У випадку адсорбції газу (пари) твердим тілом це різноманіття явищ фізичної адсорбції можна розмістити між двома граничними випадками: адсорбція на непористих поверхнях і адсорбція в мікропори.

При адсорбції газу або пари на поверхні непористих або великопористих адсорбентів фізичною моделлю адсорбції є заповнення поверхні адсорбенту з утворенням послідовних молекулярних

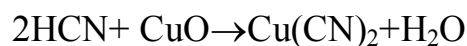
адсорбційних слів. Найважливішим параметром, що характеризує поверхневу адсорбцію, є величина поверхні, віднесена до одиниці маси адсорбенту S , м²/г.

Наочною моделлю адсорбції в мікропори є об'ємне заповнення мікропор. Мікропори – це порожнини у твердому тілі, сумірні з розмірами адсорбованих молекул (як правило, радіусом менше 15–18Å). Основним геометричним параметром, що характеризує адсорбцію в мікропори, є їх об'єм $V_{\text{мп}}$, см³/г. Кількість речовини, адсорбована твердим тілом в умовах усталеної рівноваги, називається **величиною рівноважної адсорбції, або статичної активністю**.

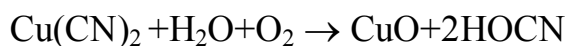
Адсорбція відбувається на будь-якій поверхні і в об'ємі мікропор. Чим вище S і $V_{\text{мп}}$, тим більше статична активність адсорбенту. Тому як адсорбенти застосовуються тверді тіла з розвиненою пористою структурою, що володіють великою внутрішньою поверхнею S і розвиненим об'ємом мікропор; наприклад, активоване вугілля, силікагелі і цеоліти.

Хемосорбційні процеси поглинання пари газів нічим не відрізняються від звичайних гетерогенних хімічних реакцій взаємодії пари із твердими тілами (хемосорбентами). Характерною рисою цього процесу є збереження стехіометричного співвідношення між кількістю небезпечної хімічної речовини, поглиненої хемосорбентом і активними добавками. Це веде до того, що для досягнення великих величин хемосорбції потрібно ввести велику кількість активних добавок. Особливо широко застосовуються хемосорбенти у коробках промислових протигазів.

Прикладом хемосорбційних процесів є процеси, які реалізуються в шихті фільтрів-поглиначів. Так, відомо, що синильна кислота погано адсорбується активним вугіллям. Однак за наявності добавок оксидів міді відбувається додатковий процес хемосорбції, що збільшує динамічну активність шихти. Це відбувається в результаті реакції



Ціанід міді, що утворився, під дією вологи і кисню повітря розкладається, знову утворюючи оксиди міді



Ціанова кислота, що утворилась, полімеризується в цианурову кислоту, яка є нетоксичною. У загальному випадку ефективність хемосорбента залежить від концентрації небезпечної хімічної речовини, величини активної поверхні і температури, вологості.

Сучасною тенденцією є створення газопилозахисних фільтрувальних протигазів, в яких повітря очищається від газів, пари і аерозолів різноманітних речовин. Типова конструкція фільтрувальної коробки такого протигазу наведена на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Газопилозахисна фільтрувальна коробка

3.2. Резервуарні дихальні апарати

3.2.1. Еволюція апаратів на стисненому повітрі

В 1860 році французький гірський інженер Бенуа Рукейроль винайшов регулятор витoku стисненого повітря для використання в

наповнених забрудненим повітрям шахтах. Його прилад складався з контейнера зі стисненим повітрям та шланга. Пізніше **Огюст Денейруе** адаптував його для автоматичної подачі повітря під воду. Регулятор працював за принципом сухої та вологої камер, мембрани та клапана. Система приводилась у рух вдихом (знижений тиск) та видихом (підвищений тиск). Регулятор був здатен зробити тиск у дихальному апараті таким, що дорівнює навколишньому тиску.

В США в 1863 році автономний дихальний апарат вперше запатентував **A.Lacour**. Його апарат складався з герметичної двошарової сумки. Холости розділялися гумовою покладкою. Пристрій знаходився на спині у пожежного та утримувався на місті двома ременями – плечовим та поясним. Сумка наповнювалась чистим повітрям, яке накачувалось туди повітряним насосом. Залежно від розмірів сумки час захисної дії складав від 10 до 30 хвилин. Повітря із сумки потрапляло до людини за допомогою гумового шланга через мундштук, перед яким знаходився легеневий автомат. Готовим до дії апарат ставав шляхом вилучення пробки, яка перекривала сумку та дихальний шланг. Випробування, які проходили в пожежному департаменті Нью-Йорка та у ВМС США, довели працездатність цього апарата.

В Росії ідею використання стисненого повітря при роботі в непридатному для дихання середовищі було запропоновано в 1871 році **російським інженером А.І. Лодигіним**. Перший апарат, який працював на стисненому повітрі, сконструював **мічман А. Хотинський** у 1873 році. Він являв собою еластичний газонепроникний мішок, що наповнювався повітрям під нормальним тиском. Проте такий апарат не знайшов широкого застосування, оскільки запас повітря забезпечував можливість роботи протягом кількох хвилин. Надалі, у міру розвитку техніки одержання стисненого повітря, еластичні мішки було замінено більшими балонами і час захисної дії протигазів зріс до 30 хв. З'явилася група

ізолюючих протигазів резервуарного типу з розімкнутим циклом дихання.

Реальним прототипом всіх існуючих резервуарних апаратів на стисненому повітрі став *апарат із відкритою схемою дихання*, який сконструювали в 1943 році французи **капітан Жак-Ів Кусто** та **інженер Еміль Ганьян**. Заслугою останнього є те, що після скарг Кусто на неможливість збільшити тиск у повітряному балоні через завдання шкоди здоров'ю людині, яка працює в апараті, і, відповідно, на незначний час захисної дії, він запропонував розмістити газовий редуктор між повітряним балоном і легенеvim автоматом.

3.2.2. Апарати на стисненому повітрі

Резервуарні дихальні апарати мають досить просту будову (див. рис. 3.6), основу якої становит повітропостачальна система.



Рисунок 3.6 – Принципова схема резервуарного дихального апарата

Апарат працює наступним чином: при вдиху в камері легеневого автомата створюється незначне розрідження, під дією якого прогинається

мембрана. Остання тисне на клапан, який відкриває отвір для потрапляння повітря з камери редуктора. Повітропостачальна система в резервуарних апаратах забезпечує пульсуючу подачу повітря залежно від частоти дихання та величини розрідження на вдиху.

Дихання в резервуарних апаратах здійснюється за такою схемою: стиснуте повітря надходить у легені людини через загубник легеневого автомата, а видих відбувається безпосередньо в атмосферу.

Апарати цього виду, що випускаються, розрізняються між собою лише зовнішнім оформленням і конструктивними особливостями окремих вузлів. Основними частинами резервуарних апаратів є балони стисненого повітря, дихальний (легеневий) автомат, редуктор, прилади контролю за витратою повітря, каркас для кріплення і монтажу частин апарата. За числом балонів резервуарні апарати поділяються на *одно-, дво- та трибалонні*. Балони апаратів служать резервуарами для стисненого повітря, яке використовується для дихання. В апаратах застосовуються малолітражні балони ємністю 1–12 літрів із робочим тиском 15–30 МПа (150–300 кгс/см²).

Використання під час реалізації принципу роботи положення “Відкрита схема дихання” зумовлює можливість використання відомого у фізиці закону Бойля–Маріотта (3.1), який встановлює залежність тиску повітря від його об'єму. Враховуючи те, що весь запас повітря Q в балонах АСП витікає в атмосферу в процесі дихання, для випадку, який розглядається, закон Бойля–Маріотта має вид:

$$P_6 \cdot V_6 = Q \cdot P_a, \quad (3.1)$$

де P_6 – тиск повітря в балоні (балонах) АСП, МПа;

V_6 – об'єм балона (балонів) АСП, л;

$P_a \approx 0,1 \text{ МПа}$ – атмосферний тиск.

В той же час кількість повітря Q , що циркулює в легенях за одиницю часу t , визначає легеневу вентиляцію:

$$\omega_{\text{л}} = \frac{Q}{t}. \quad [\text{л/хв}] \quad (3.2)$$

Зрозуміло, що витрати повітря суттєво різняться тоді, коли людина відпочиває, коли вона просто рухається або рухається з вантажем. У зв'язку з цим для орієнтовної оцінки конкретних експлуатаційних характеристик ізолюючих апаратів Система стандартів з безпеки праці рекомендує враховувати відповідні показники легеневої вентиляції (див. 1.4). Проте для забезпечення єдиного підходу в чинних керівних документах, а серед них і в Настанові з ГДЗС, рекомендується для оцінки прогнозних часових показників, які характеризують роботу в апаратах на стисненому повітрі в непридатному для дихання середовищі, розглядати роботу середнього ступеня важкості ($\omega_{\text{л}}=30$ л/хв.). Проте в Західній Європі та Сполучених Штатах Америки, як правило, приймається $\omega_{\text{л}}=40$ л/хв., оскільки там вважають, що під час роботи в апаратах на стисненому повітрі відбувається природне чергування важкої роботи (згідно із Системою стандартів з безпеки праці $\omega_{\text{л}}=60$ л/хв.), враховуючи вагу апаратів та завдання, які постають перед газодимозахисниками під час роботи в непридатному для дихання середовищі, та відпочинку (у спокої $\omega_{\text{л}}=12\text{--}20$ л/хв.).

Таким чином, для АСП з конкретними технічними характеристиками (об'ємом балонів V_6 та тиском повітря P_6 в них) можна визначити час захисної дії:

$$t_3 = \frac{V_6 \cdot P_6}{P_a \cdot \omega_l}. \quad (3.3)$$

Однак необхідно відмітити, що це розрахункова характеристика, яка на практиці може досить сильно відрізнятись від реальної.

Зрозуміло, що аналогічний підхід використовується і для визначення технічних характеристик апаратів, наприклад *об'єму балонів*:

$$V_6 = \frac{t_3 \cdot \omega_l \cdot P_a}{P_6}. \quad (3.4)$$

При цьому розрахунковий об'єм балонів фактично визначає тип того апарата, який доцільно використовувати. Так, якщо вимагається забезпечити час захисної дії 90 хвилин (наприклад, для захисту спеціальних об'єктів), то, враховуючи сучасний рівень техніки, за яким у повітряних балонах можна забезпечити розміщення повітря під тиском в 30,0 МПа, і рекомендований для оцінки вітчизняних апаратів рівень легеневої вентиляції ($\omega_l=30$ л/хв.), об'єм балонів повинен бути:

$$V_6 \geq \frac{90 \cdot 30 \cdot 0,1}{30} = 9 \text{ л}. \quad (3.5)$$

Аналіз апаратів, які виробляються в Україні і пропонуються закордонними виробниками, показує, що в цьому випадку доцільно обрати АВІМ, в якому на одній рамі розміщено систему з двох балонів по чотири з половиною літри.

Аналогічно здійснюється оцінка робочого тиску повітря в балонах:

$$P_6 = \frac{t_3 \cdot \omega_l \cdot P_a}{V_6} \quad (3.6)$$

Але більш важливою та цікавою характеристикою, яка застосовується у практичній роботі підрозділів ГДЗС, є *швидкість падіння тиску*. Так, для АСВ-2 з об'ємом балонів у шість літрів:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_6} = \left| \text{АСП 2: } \begin{array}{l} V_6 = 6 \text{ л} \\ \omega_l = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = 30 \text{ л/хв} \end{array} \right| = \quad (3.7)$$

$$= \frac{30 \cdot 0,1}{6} = 0,5 \frac{\text{МПа}}{\text{хв.}}$$

До речі, такий показник було рекомендовано і в тій Настанові з ГДЗС, що передувала чинній. Крім того, якщо розглядати АСП „Драгер” з об'ємом балонів у 8 літрів, то, враховуючи, що легеневу вентиляцію у Західній Європі визначено у розмірі 40 л/хв., також можна використовувати швидкість падіння тиску 5 бар/хв.

Легенево-автоматична подача повітря (друге положення принципу дії, яке реалізується) означає подачу повітря тільки на вдих. В той же час подати повітря з балона, в якому воно перебуває під тиском 20–30 МПа, безпосередньо до органів дихання не можна. Аналіз того, як повітря під тиском впливає при диханні на людину, результати якого наведено в **Системі стандартів з безпеки праці** (див. рис. 3.7), показує, що між балоном і легенеvim автоматом необхідно розмістити редуктор, тиск у камері якого, як правило, перебуває в діапазоні 0,4–0,8 МПа.

Без редуктора апарати **А. Лекура, А.І. Лодигіна та А. Хотинського** мали час захисної дії всього кілька хвилин. Через це винахідником АСП вважається **Ж. Кусто**, який першим розмістив редуктор між повітряним балоном і легенеvim автоматом, хоча на той час повністю ідентичне

технічне рішення (вся різниця полягає в тому, що балон був кисневим) існувало і використовувалось у регенеративних дихальних апаратах.

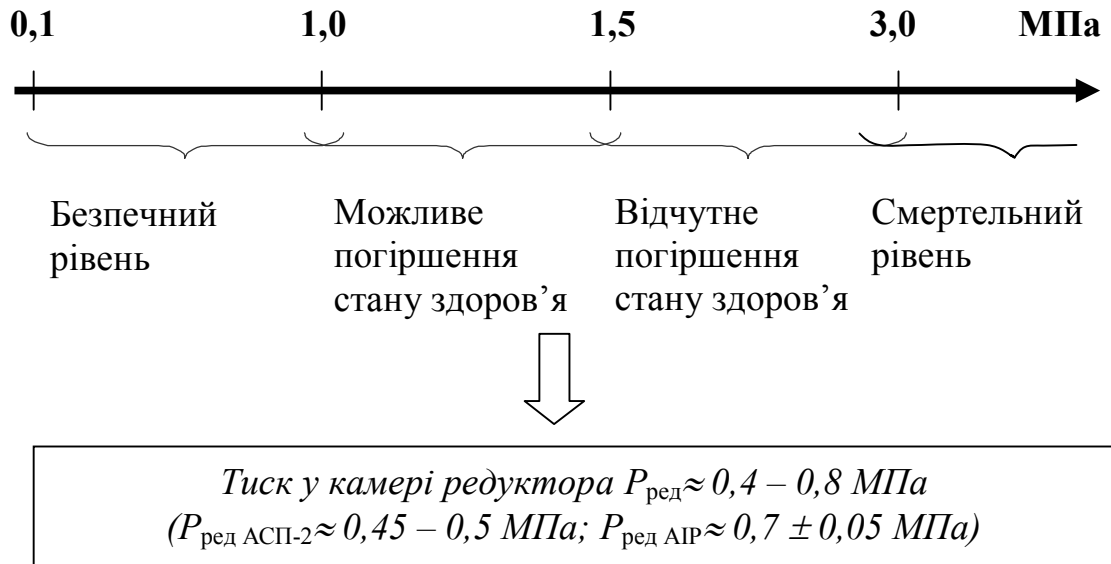


Рисунок 3.7 – Вплив стисненого повітря на легені людини

Якою ж основна вимога до інших вузлів повітроподавальної системи, основу якої складають клапанні пари постійного та перемінного перерізу? В першу чергу наступна – в найгіршому випадку через клапанні пари повинна проходити така кількість повітря, щоб забезпечити максимально можливу легеневу вентиляцію. Оскільки легеневу вентиляцію можна розглядати (1.9) як результат множення частоти дихання на дихальний об'єм, то

$$\omega_{л\ max} = f_{\max} \cdot V_{д\ max} \quad (3.8)$$

де f_{\max} – максимальна частота дихання, $хв^{-1}$;

$V_{д\ max}$ – максимальний дихальний об'єм, л.

При цьому, з одного боку, відомо, що загальна ємність легень V_{Σ}

складається із суми резервного об'єму вдиху $V_{\text{рез вд}}$, дихального об'єму $V_{\text{д}}$, резервного об'єму видиху $V_{\text{рез вид}}$ та залишкового об'єму $V_{\text{залиш}}$ (кількість повітря, що залишається в легенях після максимального видиху):

$$V_{\Sigma} = V_{\text{рез вд}} + V_{\text{д}} + V_{\text{рез вид}} + V_{\text{залиш}} \quad (3.9)$$

Ця сума коливається в діапазоні 4,5–6 л. В той же час навіть після максимального видиху в легенях залишається 1–1,5 л. Тобто максимальний дихальний об'єм буде приблизно дорівнювати 5 літрам.

З іншого боку, ССБП рекомендує (див. 1.4) вважати для найгірших умов роботи (виконання дуже важкої роботи) частоту дихання такою, що дорівнює 30 дихальним циклам у хвилину. Тобто видно, що клапанні пари АСП повинні забезпечити проходження через них 150 літрів повітря за хвилину.

Підтвердженням отриманого показника є і результати досліджень, які виконувались у Національному університеті цивільного захисту України. Так, під час пожежно-тактичних навчань на станції метро “Радянська” в м. Харкові при підйомі потерпілого по нерухомому ескалатору в кількох курсантів легенева вентиляція була більше 120 л/хв.

Пульсуюча подача повітря на вдих називається *легенево-автоматичною* через те, що її забезпечує легеневий автомат. Умовою спрацювання легеневого автомата є досягнення заданого рівня дихального зусилля в камері легеневого автомата. При цьому необхідно звернути увагу на те, що дихальне зусилля може виникнути не тільки тоді, коли в камері л/а має місце нульовий, але й тоді, коли тиск є негативним (активний видих) або позитивним (такий випадок має місце при використанні легневих автоматів зі збитковим тиском у підмасковому просторі). Тобто дихальне зусилля характеризується створюваним перепадом тиску, а не

тільки розрідженням.

Внаслідок цього при другій перевірці сучасних легеневих автоматів, які забезпечують збитковий тиск у підмасковому просторі (наприклад, основний легеневий автомат АВІМ), не використовується реометр-манометр у тому вигляді, як це робиться під час перевірки звичайних легеневих автоматів. Застосовується спеціальне обладнання – так званий *Fantom*.

Для характеристики дихального зусилля в першу чергу використовують показники, що оцінюють чутливість системи та затримку часу (рис. 3.8).

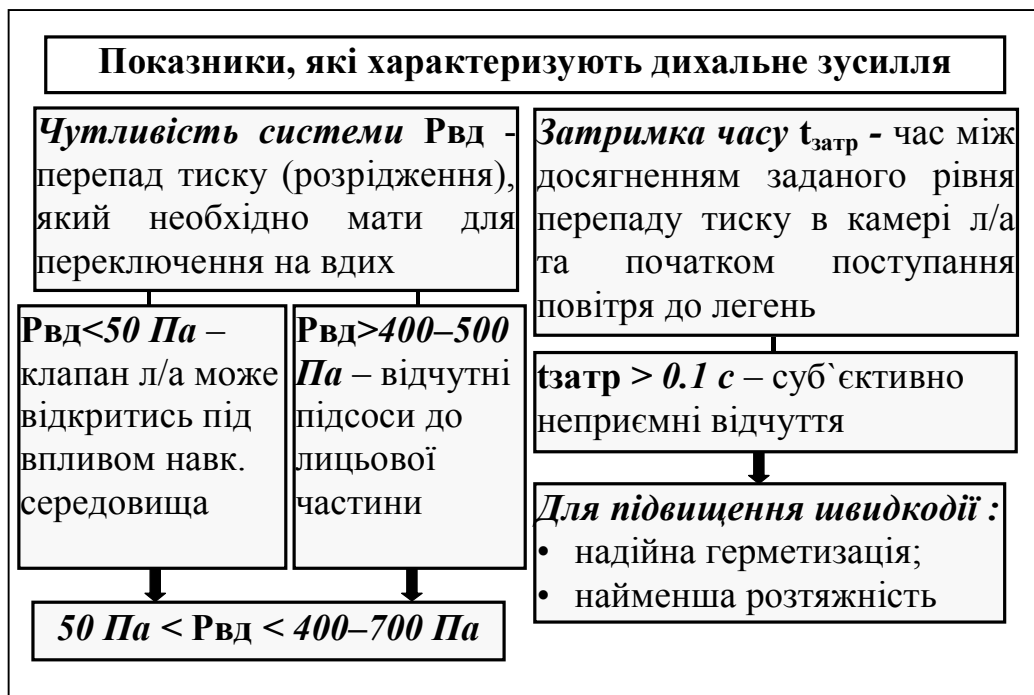


Рисунок 3.8 – Основні показники, які характеризують дихальне зусилля

Чутливість системи – це перепад тиску (розрідження), який необхідно мати для переключення на вдих. При цьому потрібно мати на увазі, що, з одного боку, якщо розрідження буде менше 50 Па (5 мм водяного стовпчика), то клапан вдиху легеневого автомата може відкритись під впливом навколишнього середовища (наприклад, від

коливань апарата або відкриття дверей у приміщенні). З іншого боку, якщо перепад тиску більше 400 Па, то це викликає відчутні підсоси до лицевої частини. Все це і зумовлює ті показники, які контролюються при перевірці №2, коли перевіряється легеневий автомат у зборі з лицевою частиною.

Інша характеристика – *затримка часу*, яка дорівнює часу між досягненням заданого рівня перепаду тиску в камері легеневого автомата та початком потрапляння повітря до легень. Дослідження, що проводились під час створення апаратів для штучного дихання, показали, що якщо затримка часу буде більше 0,1с, то людина відчуває себе неприємно. Тобто необхідно підвищити швидкодію легеневого автомата. Для цього, в першу чергу, потрібно забезпечити надійну герметизацію корпусу легеневого автомата, а також найменшу розтяжність. Остання вимога викликає необхідність збільшення діаметра мембрани, що відразу впливає на її розміри та вагу.

Таким чином, можна в цілому відмітити, що використання відкритої схеми дихання впливає на технічні характеристики, які здебільшого пов'язані з балонами АСП (об'єм, робочий тиск, час роботи). В той же час принцип легенево-автоматичної подачі впливає на характеристики як самого легеневого автомата, так і редуктора.

Принцип дії резервуарних дихальних апаратів зумовлює їх недоліки та переваги. Так, дану групу апаратів відрізняють наступні переваги:

- високий ступінь надійності;
- простота конструкції;
- низька температура вдихуваного повітря;
- незначний опір на вході;
- при використанні цих апаратів відсутня небезпека кисневого голодування через заазотування системи апарата, як це відбувається в апаратах із замкнутою схемою дихання, й отруєння вуглекислим газом;

- у даних апаратах можлива робота в середовищах, що містять легкозаймисті і вибухові речовини, тому що відсутній небезпечний для мастил та інших речовин чистий кисень;

- газова суміш, яка використовується для дихання, має невисокий вміст кисню (21 %) і вологи. Внаслідок цього не потрібен спеціальний добір особового складу для роботи в таких апаратах, а також проходження ним спеціального курсу підготовки і тренування.

Основними недоліками резервуарних апаратів є:

- малий термін захисної дії, викликаний неекономною витратою повітря;

- значна вага і габарити;

- відносна складність зарядки повітряних балонів.

Резервуарні апарати з терміном дії близько однієї години недостатньо придатні через велику вагу і громіздкість. При роботі в таких апаратах, наприклад, дуже важко виконувати вправи, які носять прикладний характер. Такі, наприклад, коли одному бійцю необхідно перенести людину вагою 75 кг, особливо коли до заданого маршруту входять сходження по сходах і пересування у приміщеннях з недостатньою видимістю.

Апарати з повітряними балонами меншого об'єму є більш зручними у користуванні, але термін їх захисної дії не завжди може бути достатнім. Це потребує чітко налагодженої роботи із заміни балонів (апаратів) на місці пожежі і контролю часу роботи кожного бійця.

Розроблено групу автономних резервуарних апаратів на рідкому повітрі. Такими приладами оснащено пожежну охорону центру НАСА ім. Кеннеді, у СНД такі апарати не розроблялися. Відмінною здатністю цих апаратів є невелика маса (до 13 кг) і габарити, більша тривалість дії (значно більше однієї години), в порівнянні з апаратами на стисненому повітрі. Прилади містять судину Д'юара спеціальної конструкції, в які

міститься рідке повітря, що по системі трубопроводів надходить у випарник і через теплообмінник за температури $18,3^{\circ}\text{C}$ подається в маску.

Недоліки таких приладів: зміна складу рідкого повітря при тривалому зберіганні за рахунок збагачення його киснем, складнощі із забезпеченням рідким повітрям у гарнізонах малих міст і сільської місцевості, конструктивні недоліки приладів, які не враховують, що в умовах пожежі прилади можуть знаходитися практично в будь-якому положенні, а не тільки у вертикальному.

3.3. Регенеративні дихальні апарати

3.3.1. Протигаз професора Шванна та ребрізери

В історії створення ізолюючих апаратів знаменною датою став 1953 рік, коли професор Льєжського університету (Бельгія) фізіолог Шванн сконструював *регенеративний дихальний респіратор зі стисненим киснем*, який став прототипом всіх сучасних регенеративних дихальних апаратів.

Респіратор «АЕРОФОР», який запропонував Шванн, схематично представлено на рис. 3.9.

Діяв він наступним чином: повітря, видихуване людиною, з мундштука 1 виходило через клапан видиху 3 у шланг видиху 4 та спрямовувалося в поглинальний (регенеративний) патрон 7, який складався з двох серій камер, наповнених гідратом окису кальцію, просоченим NaOH. Камери були послідовно з'єднані таким чином, що повітря, яке проходило через них, здійснювало довгий зигзагоподібний шлях через крупнозернистий, а потім через мілкозернистий поглиначі. При цьому воно у достатній мірі очищувалося від вуглекислоти. До повітря, яке очистилось від вуглекислого газу, з балонів 8 під дією регулювального вентиля 10 додавався кисень.

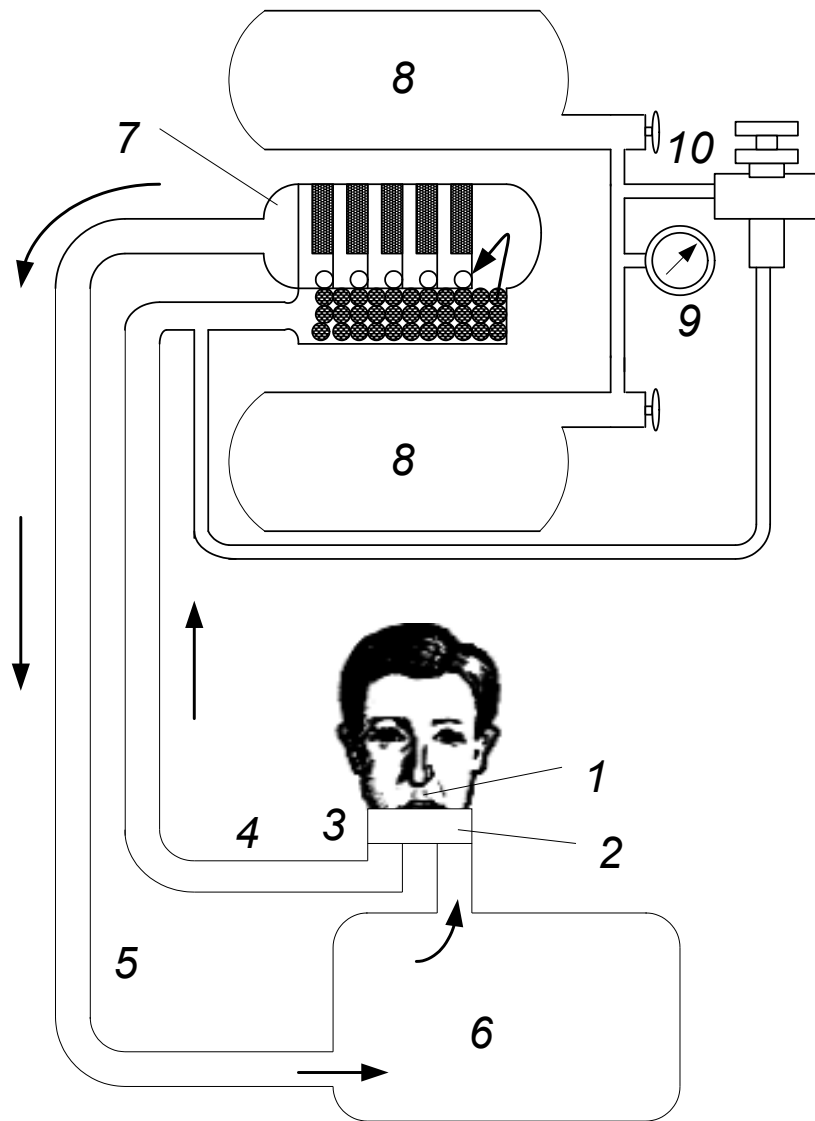


Рисунок 3.9 – Регенеративний респіратор Шванна

1 – мундштук; 2 – клапан вдишу; 3 – клапан видиху; 4 – шланг видиху; 5 – шланг вдишу; 6 – дихальний мішок; 7 – поглинальний патрон; 8 – кисневий балон;
9 – манометр високого тиску; 10 – вентиль для регулювання подачі кисню

Очищене та збагачене киснем повітря силою легень засмоктується через дихальний шланг, дихальний мішок 6 та дихальний клапан 2 в легені. Регулювання кількості кисню, яке подається до системи респіатора, здійснювалось вручну. Ємність кожного балона 8 становила 7 л. Наповнювались вони під тиском 4–5 кгс/см². При запасі кисню 60–70 л, який зумовлював час захисної дії 30–45 хвилин, респіратор важив 24 кг.

Респіратор Шванна являв собою синтез всіх знань, досягнутих у галузі респіраторобудування на той час. Його було сконструйовано на основі знань про суть та механізм процесів дихання. Ці знання базувались на фізіологічних експериментах **Лавуазьє**, який в питаннях газообміну знайшов наступні величини: у стані спокою та натщесерце людина поглинає 0,4 л кисню у хвилину, під час роботи та травлення їжі – 1,5 л/хв. Ці величини є дуже близькими до сучасних уявлень про газообмін.

Респіратор Шванна містив більшість основних елементів сучасного регенеративного апарата зі стисненим киснем: кругова циркуляція повітря в респіраторі, яка спрямовується системою клапанів із ввімкненням дихального в якості буфера; регулювання подачі кисню для постійного збагачення циркулюючого в апараті повітря; застосування сухого зерненого поглинача для очищення повітря від вуглекислого газу; здійснення циркуляції повітря силою легень; приєднання респіратора до органів дихання мундштуком.

Перші вітчизняні протигази регенеративного типу були виготовлені на Орлово-Єленівській станції гірничорятувального устаткування в 1925 році. У 1930 році був створений КИП-1; у 1939 році на основі модернізації КИП-3 було створено КИП-5, що став широко застосовуватися при гасінні пожеж. У 1947 році створюється КИП-7, а також РКК-2 (респіратори Ковшова і Кузьменка). У 1949 році був сконструйований новий тип протигаза – Урал-1. З 1967 року промисловістю вироблялися КИП-8. На озброєнні пожежно-рятувальних підрозділів державної служби України з надзвичайних ситуацій найбільш розповсюдженим зараз є *ізолюючий протигаз Р-30*.

Такий самий принцип дії мають і апарати типу «ребрізер» (від *англ. re* – *приставка, яка позначає повторення будь-якої дії, та англ. breath* – *дихання, вдих*). Саме *ребрізер* був першим апаратом, за допомогою якого здійснювалось автономне занурення під воду. Його створив у 1878 році

інженер Флеусс для забезпечення роботи в затопленій шахті. Цей апарат складався із гумової маски, що приєднувалась до дихального мішка, який наповнювався киснем. Останній подавався з мідного балона. Вуглекислий газ поглинався «фільтром»: переплетеними волокнами, просоченими каустичним поташем (вуглекислим калієм). У 1915 ідея Флеусса була запозичена сером **Робертом Девісом** при створенні *апарата для аварійного спливання з підводних човнів*, який потім почали виробляти в усьому світі.

В період між Першою та Другою світовими війнами в Італії було створено АРО (*кисневий ребрізер замкнутого циклу*). У 1933–34 роках **італійські військові водолази Teseo Tesei і Elios Toschi** по достоїнству оцінили незамінність цього апарата у військових операціях – до пристрою було внесено деякі зміни, і він став незамінним в операціях бійців загонів Gamma і Maiali.

Обмеження щодо застосування кисневих ребрізерів замкнутого циклу під водою обумовлені в першу чергу тим, що в цих апаратах застосовується чистий кисень, парціальний тиск якого і є обмежуючим фактором за глибиною занурення. Так, у спортивних (рекреаційних і технічних) системах навчання ця межа становить 0,16 МПа (1,6 кгс/см²), що обмежує глибину занурення 6 метрами в теплій воді за мінімального фізичного навантаження. У військово-морському флоті ФРН ця межа становить 8 м, а у ВМФ РФ – 22 м.

3.3.2. Регенеративний дихальний апарат зі стисненим киснем

З моменту створення ізолюючого протигазу «АЕРОФОР» професором Шванном багаторазово змінювалися тенденції розвитку таких апаратів і поліпшувалися їх технічні дані. Проте принципова схема (рис. 3.10) збереглася дотепер. Сучасний РДА (рис. 3.10) складається з

повітропровідної та киснепостачальної систем.

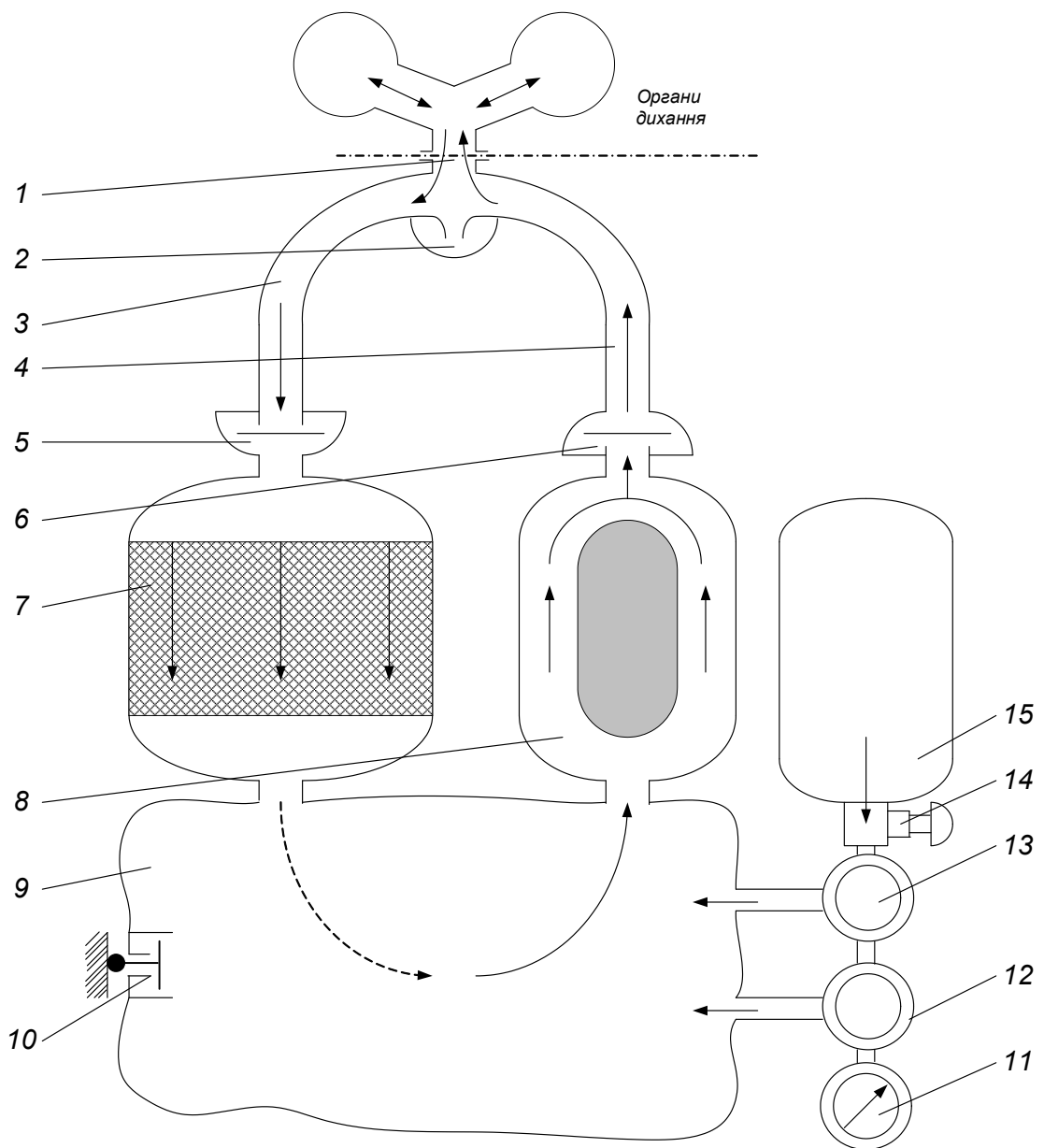


Рисунок 3.10 – Схема регенеративного дихального апарата

**1 – лицьова частина; 2 – вологозбірник; 3 – шланг видиху; 4 – шланг вдиху;
5 – клапан видиху; 6 – клапан вдиху; 7 – регенеративний патрон; 8 –
холодильник; 9 – дихальний мішок; 10 – збитковий клапан; 11 – контрольний
прилад; 12 – пристрій додаткової подачі кисню; 13 – пристрій основної подачі
кисню; 14 – запірний пристрій; 15 – кисневий балон**

Повітропровідна система включає лицьову частину, вологозбірник,

дихальні шланги і клапани, регенеративний патрон, холодильник, дихальний мішок і збитковий клапан.

До киснепостачальної системи входять контрольний прилад (індикатор), що показує запас кисню в апараті, пристрій для додаткової подачі кисню, пристрій основної подачі кисню, запірний пристрій і ємність для зберігання кисню (як правило, кисневий балон).

Лицьова частина служить для приєднання повітропровідної системи РДА до органів дихання людини. Спільно з легенями вона складає єдину замкнуту систему “апарат – органи дихання”, ізольовану від навколишнього середовища. В цій замкнутій системі під час дихання деякий об’єм повітря здійснює перемінний за напрямком рух між двома еластичними елементами: самими легенями та дихальним мішком 9. Завдяки клапанам 5 та 6 цей рух іде по замкнутому колу: видихуване з легень повітря проходить у дихальний мішок по гілці видиху (1, 3, 5, 7), а вдихуване повітря повертається в легені по гілці “вдиху” (8, 6, 4, 1). Така схема циркуляції повітря отримала назву “кругової”.

При створенні РДА, які мають невеликий час захисної дії (близько 30 хвилин), застосовується маятникова схема дихання, яка відрізняється від кругової тим, що в ній гілки вдиху та видиху об’єднані в одне ціле.

Внаслідок цього:

- 1) збільшується об’єм шкідливого простору і, відповідно, склад вуглекислого газу у вдихуваному повітрі;
- 2) покращується сорбція вуглекислого газу в регенеративному патроні за рахунок використання додаткового поглинання вуглекислого газу під час вторинного проходження повітря через патрон.

Використання маятничкової схеми спрощує конструкцію апарата. Крім неї, ще може бути напівмаятничкова схема, яка відрізняється від кругової відсутністю клапана видиху 5. Її дія пояснюється тим, що опір

гілки видиху, до складу якої входить регенеративний патрон із сорбентом, більше, ніж гілки вдиху. Тобто у зворотному напрямку пройде менший об'єм повітря, ніж по гілці вдиху.

У повітропровідній системі відбувається регенерація видихуваного повітря, тобто газовий склад його відновлюється до такого, який мало вдихуване повітря до потрапляння в легені. Процес регенерації складається з двох фаз:

- 1) очистки видихуваного повітря від вуглекислого газу;
- 2) додавання до нього кисню.

Перша фаза регенерації повітря відбувається в регенеративному патроні (до речі, назва “регенеративний патрон” недостатньо точно вказує на його функції, оскільки в патроні процес регенерації не завершується). Видихуване повітря очищується в регенеративному патроні, в результаті реакції хемосорбції вуглекислого газу тим чи іншим видом сорбенту. Оскільки реакція поглинання вуглекислого газу є екзотермічною, з патрона в дихальний мішок потрапляє нагріте повітря. Залежно від виду сорбенту, повітря, яке проходить по регенеративному патрону, або осушується, або стає вологим. В останньому випадку під час руху в елементах повітропровідної системи випадає конденсат.

Друга фаза регенерації повітря відбувається в дихальному мішку, куди з киснепостачальної системи надходить кисень в об'ємі, дещо більшому за той, який споживає людина.

Принциповою різницею між АСП та РДА є використання при створенні останніх замкнутої ізольованої системи “апарат – органи дихання”. Тобто ізолюючий апарат повинен забезпечити вдих, який дорівнює життєвій ємності легень $V_{жсл}$. Це зумовлює вимоги до об'єму дихального мішка $V_{дих\ мішка}$. При цьому враховуються результати дослідження медиками, які проводились під час розробки апаратів штучної

вентиляції легень різноманітних дихальних об'ємів:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{дих мішка}} &= V_{\text{ЖЄЛ}} = V_{\text{рез.об.вдих}} + V_{\text{д}} + V_{\text{рез.об.видих}} = \\
 &= \left| \begin{array}{l} V_{\text{рез.об.вдих}} \approx 1500 - 2000 \text{ мл} \\ V_{\text{д}} \approx 300 - 600 \text{ мл} \\ V_{\text{рез.об.видих}} \approx 1500 - 2000 \text{ мл} \end{array} \right| \approx 4 - 4,5 \text{ л}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Отриманий результат відповідає реальним тактико-технічним характеристиками РДА (наприклад, $V_{\text{дих мішка}}(\text{КИП} - 8) = 4 \text{ л}$; $V_{\text{дих мішка}}(\text{РР30}) = 4,5 \text{ л}$). Проте на увазі слід мати, що за незначного збільшення числа вдихів можна цілком використовувати життєву ємність легень. За більшого підвищення частоти дихання можливість її використання знижується. Звідси впливає така важлива особливість, котру необхідно враховувати при роботі в ізолюючих апаратах, – до неї слід залучати осіб, які добре підготовлені з фізичного боку і мають малу частоту дихання. Надмірне збільшення вентиляції легень під час роботи в апаратах є небажаним. Тому під час роботи в ЗІЗОД необхідно стежити за частотою дихання та за значного її збільшення – робити паузи в роботі з тим, щоб знизити розміри легеневої вентиляції.

Крім вимог до об'єму дихального мішка, використання закритої схеми дихання зумовлює і спеціальні вимоги, пов'язані із забезпеченням безпечної роботи в РДА. В першу чергу це пов'язано з тим, що в дихальній системі “апарат – органи дихання” є можливість накопичення інертної частини газової суміші, переважно азоту (рис. 3.11).

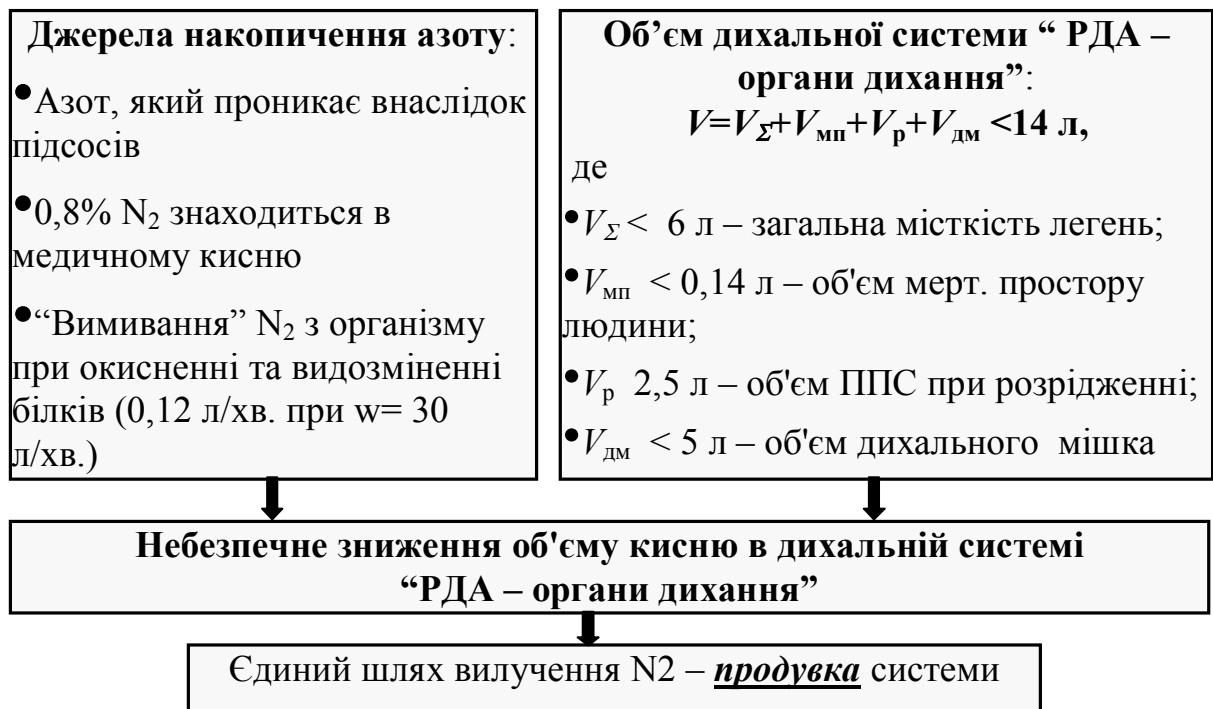


Рисунок 3.11 – Аналіз виникнення небезпечної кількості азоту в дихальній системі

У повітропровідній системі відбувається також кондиціонування регенованого повітря. Воно включає в себе приведення його температурно-вологісних параметрів до рівня, який є придатним для вдихування повітря людиною. Як правило, кондиціонування повітря зводиться до його охолодження.

Дихальний мішок в РДА виконує ряд функцій і являє собою еластичну ємність для приймання видихуваного з легень і очищеного в регенеративному патроні повітря, яке потім надходить на вдих. Дихальний мішок виготовляють з гуми або газонепроникної прогумованої тканини. Для того щоб забезпечити глибоке дихання під час важкого фізичного навантаження та окремі глибокі вдихи, як було відмічено у першому розділі, мішок повинен мати корисний об’єм не менше 5 л. В мішку до повітря, що виходить з регенеративного патрона, додається кисень. Мішок є збірником конденсату (за його наявності). В ньому також затримується пил сорбенту, який в невеличкій кількості може проникнути з регенеративного патрона. Крім того, там відбувається первинне

охолодження гарячого повітря, яке надходить з регенеративного патрона, за рахунок тепловіддачі через стінки мішка до навколишнього середовища. І, врешті-решт, дихальний мішок керує роботою збиткового клапана 10 та легеневого автомата (якщо він є в апараті).

Це керування може бути як прямим, так і непрямим. За *прямого керування* стінка дихального мішка безпосередньо або через механічну передачу впливає на збитковий клапан або клапан легеневого автомата.

За *непрямого керування* ці клапани відкриваються внаслідок впливу на їх особисті сприймаючі елементи (наприклад, мембрани) тиску або розрідження, яке створюється в дихальному мішку під час його заповнення або спорожнення.

Збитковий клапан 10 служить для видалення з повітропровідної системи надлишкової газоповітряної суміші та діє в кінці видихів. У випадку, коли робота збиткового клапана скеровується непрямим способом, виникає небезпека втрати частини газоповітряної суміші РДА через клапан внаслідок натискання на стінку дихального мішка. Щоб запобігти цьому, мішок захищають жорстким корпусом.

Холодильник 8 служить для пониження температури видихуваного повітря. Відомі повітряні холодильники, дія яких базується на віддачі тепла через їх стінки в навколишнє середовище, але більш ефективними є холодильники з хладоагентом. Їх дія спирається на використання захованої теплоти фазового перетворення (водяний лід, фосфорнокислий натрій, вуглекислий(сухий) лід та інш.). Холодильник не є обов'язковим елементом конструкції РДА. Багато дихальних апаратів не мають його, а охолодження нагрітого в регенеративному патроні повітря відбувається в дихальному мішку і шланзі вдиху, а також, як це має місце у КІП-8, у звуковому сигналі.

Те, яким чином кисень потрапляє до дихального мішка, визначається способом киснепостачання конкретного РДА. Варіанти і модифікації

принципової схеми киснепостачальної системи РДА визначаються, в першу чергу, засобом резервування кисню, реалізованим у даному апараті.

За засобами резервування кисню РДА поділяються на три групи:

- зі стиснутим киснем;
- із рідким киснем;
- з хімічно зв'язаним киснем.

Будова повітропровідних систем у них може бути однаковою, проте киснепостачальні системи істотно відрізняються одна від одної.

В РДА (КІП) зі стиснутим киснем як резервуар для його зберігання використовується балон із запірним вентилям.

Робочий тиск у балоні становить, як правило, 20 МПа, але треба мати на увазі, що в балонах, ємність яких менше 1 л, і початковий тиск буде здебільшого менше. Так, в апараті КІП-5, який мав балон ємністю 0,7 л, початковий тиск не повинен був перевищувати 15 МПа.

В сучасних РДА застосовуються два способи для основної подачі кисню:

- постійна подача з витратами об'єму кисню близько 1,5 л/хв.;
- легенево-автоматична подача, яка здійснюється короткими імпульсами з витратою об'єму кисню 60–150 л/хв. в моменти спорожнення дихального мішка і створення в ньому відповідного розрідження.

Пристрій для основної подачі кисню включає редукційний клапан, що знижує тиск кисню до 0,3–0,6 МПа і підтримує його на постійному рівні незалежно від тиску в балоні, сполучений із редукційним клапаном дозуючий штуцер (дюзу), призначений для постійної подачі кисню, і легеневий (дихальний) автомат, що працює на редукованому тиску кисню. Роботою легеневого автомата керує дихальний мішок прямим або непрямим способом.

Відомі моделі РДА без легеневого автомата зі збільшеною, а тому менш економічною, подачею кисню (2–3 л/хв).

Крім того, є моделі РДА, в яких кисень подається тільки через легеневий автомат. У деяких подібних конструкціях легеневий автомат заповнюється киснем високого тиску, який подається безпосередньо від балона.

Додаткова подача кисню здійснюється пристроєм, який за необхідності, приводиться в дію вручну. Даний пристрій називається ще “аварійним клапаном” або байпасом (*Bypass* – обвідний канал). Оскільки ним користуються для продування повітропровідної системи від азоту, що зібрався, і в аварійних випадках при порушенні нормальної дії пристрою основної подачі кисню, то аварійний клапан може заповнюватись киснем від балона по окремому каналу.

Для контролю запасу кисню в балоні служать звичайний манометр, який розміщують у полі зору людини за допомогою металевої капілярної трубки. Оскільки ця трубка при роботі може бути ушкоджена, щоб уникнути швидкої втрати запасу кисню передбачено (у більшості сучасних конструкцій) перекривний пристрій капіляра, який приводиться в дію вручну або автоматично.

Переваги РДА зі стисненим киснем:

- достатньо ощадлива витрата кисню;
- високий питомий час захисної дії;
- постійна готовність до застосування;
- можливість роботи в апараті окремими періодами, із вимиканням і наступним умиканням, без втрати загального часу захисної дії;
- мала вага та невеликі габарити.

При роботі в таких апаратах значно змінюється нормальне дихання у результаті:

- підвищеного відсоткового вмісту у вдихуваному повітрі вуглекислого газу і кисню, причому кількість останнього протягом роботи може зазнавати значних коливань;

- підвищення відсоткового вмісту азоту в системі протигаза;
- підвищення температури і вологості вдихуваного повітря;
- збільшеного опору дихання за замкнутим циклом протигаза.

До **недоліків** слід віднести також:

- складність будови та обслуговування;
- обов'язковий процес навчання особового складу поводженню з апаратом;
- залежність часу роботи від якості хімічного поглинача;
- відносно висока вартість.

У пожежно-рятувальних підрозділах найбільш широке застосування одержали протигази регенеративні з подачею стисненого кисню в систему через систему клапанів і редукторів із поглинанням вуглекислого газу, що працюють за круговою (замкнутою) схемою дихання. У протигазах цього типу видихуване повітря, що містить велику кількість кисню, не викидається в атмосферу, а відновлюється і повторно використовується для дихання. У регенеративному протигазі дихання здійснюється за замкнутим циклом, ізольованим від зовнішнього середовища. Час роботи в агрегаті залежить від кількості і властивостей хімпоглинача регенеративного патрона, запасу кисню у балоні.

3.3.3. Регенеративний дихальний апарат із рідким киснем

В РДА із рідким киснем зріджений газ зберігається в металевому резервуарі, стінки якого зовні покриті прошарком ізолюючого матеріалу, що не втрачає своїх властивостей за наднизької температури. В РДА відсутній запірний пристрій, байпас та індикатор, а пристрій для основної подачі кисню являє собою звичайний канал, що з'єднує резервуар із дихальним мішком. Зріджений кисень заливається в резервуар безпосередньо перед початком роботи, після чого протягом усього часу

захисної дії він випаровується (газифікується) і надходить у повітропровідну систему.

Резервуар улаштований таким чином, що виключається потрапляння рідкої фази до повітропровідної системи. Для цього він заповнюється прожареною азбестовою ватою, що утримує зріджений газ в адсорбованому стані.

З одного літра рідкого кисню утворюється 850 літрів газоподібного. Це в 4 рази більше, ніж можна одержати з 1 літра стисненого кисню при тиску 20 МПа. Маса резервуара для рідкого кисню менше, ніж балона для стисненого газу, оскільки скраплений газ в РДА - апараті зберігається при тиску, який є близьким до атмосферного. Тому створюється значний запас газу за досить малого об'єму резервуара і його невеличкої маси.

Рідкий кисень використовується не тільки для забезпечення дихання, але також і як холодильний агент. Він має температуру кипіння – 183°C . Для газифікації 1 кг рідкого кисню потрібно затратити 213 кДж тепла, а потім для нагрівання до $+20^{\circ}\text{C}$, щоб утворилося 750 літрів газу, – ще 185 кДж. Зазначений запас “холоду”, що утримується у зрідженому кисні, використовується для кондиціонування повітря в апараті та створення комфортних мікрокліматичних умов дихання. У більшості конструкцій для кондиціонування використовують лише запас холоду, що міститься в кисні, що вже випарувався. Воно здійснюється шляхом його змішування з повітрям, що виходить із регенеративного патрона. Холодильник у повітропровідній системі відсутній.

В таких апаратах швидкість газифікації кисню залежить лише від інтенсивності теплового потоку, що проникає в резервуар через прошарок теплоізоляції стінок. Вона мало залежить від температури навколишнього середовища в тому діапазоні, в якому застосовується апарат, і не залежить від інтенсивності виконуваної фізичної роботи. Тому час захисної дії апарата за будь-яких умов постійний. Він обчислюється з моменту заливки

в резервуар рідкого кисню і контролюється газодимозахисником за годинником.

До РДА такого типу відносяться апарати “Аерофор”, “Еренчен”, “Аерорлокс”, які випускаються у Великобританії, і радянський “Комфорт”.

Для одержання значного остудного ефекту розрахункова швидкість випару і надходження рідкого кисню до повітропровідної системи повинна перевищувати потребу людини в кисні в 4–10 разів. При такому режимі надлишковий (збитковий) клапан в апараті працює наприкінці кожного видиху. В результаті цього в атмосферу виділяється 40–90 відсотків газоповітряної суміші від об’єму кисню, що надійшов. Надлишковий клапан устанавлюють до регенеративного патрона, щоб через нього видалити частину видихуваного повітря (близько 4 відсотків) і тим самим частково розвантажити регенеративний патрон. Така подача кисню в систему дозволила відмовитися від легеневого автомата і байпаса.

Експлуатаційні особливості практично відповідають особливостям експлуатації резервуарних апаратів на рідкому повітрі.

Позитивні риси:

- оптимальні мікрокліматичні умови дихання як за нормальної, так і за високої температури навколишнього середовища;
- простота і надійність конструкції.

Недоліки:

- необхідність спорядження киснем безпосередньо перед застосуванням;
- обов’язкове використання відразу всього часу захисної дії.

3.3.4. Апарати на хімічно зв’язаному кисню

В РДА на хімічно зв’язаному кисню (рис. 3.12) останній міститься у гранульованому продукті на базі супероксидів лужних металів і

виділяється під час реакції поглинання продуктів вуглекислого газу і водяних парів, які мають місце у видихуваному повітрі.

Зазначеним продуктом, що містить кисень, споряджується регенеративний патрон РДА, при проходженні через який видихуване повітря цілком регенерується. Процес регенерації включає дві фази: поглинання вуглекислого газу (і вологи) з одночасним додаванням кисню, що виділився. В регенеративному патроні відбувається екзотермічна реакція, у результаті якої продукт при важкому фізичному навантаженні розігрівається до 400°C . Внаслідок того, що виділення кисню продуктом є пропорційним поглинанню ним вуглекислого газу, апарат забезпечує ощадливу витрату наявного запасу кисню.

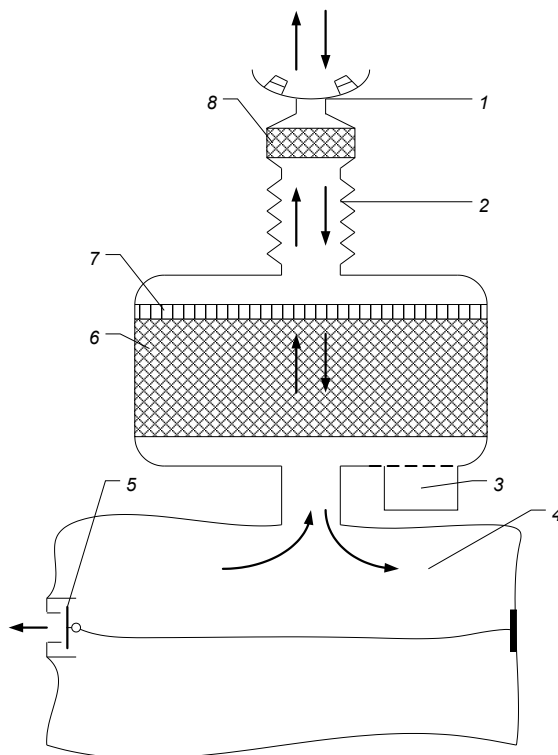


Рисунок 3.12 – Схема РДА на хімічно зв'язаному кисню

1 – лицева частина; 2 – дихальний шланг; 3 – пусковий пристрій;
4 – дихальний мішок; 5 – збитковий клапан; 6 – регенеративний патрон;
7 – фільтр; 8 – тепловологообмінник.

Киснепостачальна система відсутня. Замість неї в більшості апаратів

є пусковий пристрій для подачі до повітропровідної системи невеликої порції додаткового кисню, коли продукт не розігрівся, і кисневиділення відбувається недостатньо активно.

Позитивні риси:

- простота конструкції;
- мала вага;
- ощадлива витрата кисню.

Недоліки:

- відсутність надійної конструкції індикатора ступеня відпрацьованості продукту, що містить кисень (фактичний час захисної дії встановлюють на 20 відсотків вище гарантованого);
- неможливість здійснення тривалих перерв під час роботи;
- великий опір диханню;
- висока вартість експлуатації.

Контрольні запитання до глави 3:

1. Вкажіть переваги протигаза ГП-7В.
2. Що являють собою протипилові респіратори?
3. Що являють собою аерозолі?
4. Що являють собою фільтрувальні матеріали?
5. Що лежить в основі протигазового захисту за допомогою фільтрувальних протигазів?
6. Розкрийте принципову схему резервуарного дихального апарата.
7. Яким чином здійснюється дихання в резервуарних апаратах?
8. Вкажіть основні показники, що характеризують дихальне зусилля.
9. Розкрийте переваги резервуарних дихальних апаратів.
10. Вкажіть недоліки резервуарних дихальних апаратів.
11. Вкажіть недоліки автономних резервуарних апаратів на рідкому повітрі.

- 12.3 яких основних вузлів складається регенеративний респіратор Шванна?
- 13.3 чого складається повітропровідна система регенеративного дихального апарата зі стисненим киснем?
- 14.3 чого складається киснепостачальна система регенеративного дихального апарата зі стисненим киснем?
15. Які схеми дихання можуть використовуватись у регенеративному дихальному апараті?
16. За якими засобами резервування кисню поділяються регенеративні дихальні апарати?
17. Які способи основної подачі кисню застосовуються в сучасних регенеративних дихальних апаратах?
18. Розкрийте переваги регенеративних дихальних апаратів зі стисненим киснем.
19. Розкрийте недоліки регенеративних дихальних апаратів зі стисненим киснем.
20. Вкажіть недоліки резервуарних апаратів на рідкому повітрі.
21. Вкажіть переваги резервуарних апаратів на рідкому повітрі.
22. Розкрийте переваги регенеративних дихальних апаратів на хімічно зв'язаному кисню.
23. Розкрийте недоліки регенеративних дихальних апаратів на хімічно зв'язаному кисню.

ГЛАВА 4. ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ШКІРИ

4.1. Герметичний гумовий костюм Пашутіна В.В.

Професор Казанського університету, відомий патолог В.В. Пашутін (1878 р.) виходив з того, що матеріальні спонукачі чуми здатні проникати в одяг і шкіру, а потім з них потрапляти в легені, або вони можуть бути рознесені із «заражених фокусів у вільні від зарази житлові приміщення та інше». Тому вважав, що для захисту персоналу необхідно дезінфікувати шкіру разом із сукнею після кожного відвідування «заражених фокусів». Проте вживання сильнодіючих речовин (наприклад, хлору) буде руйнувати тіло й одяг. Через це Пашутін запропонував «закривати герметично всю поверхню тіла особливою непроникною і резистентною тканиною». Тим самим, як відзначав він, «виключається зіткнення шкідливих речовин з поверхнею шкіри людини (отже, і всмоктування цим шляхом), а головне – дається можливість легко і зручно дезінфікувати все те, до чого могли пристати шкідливі речовини при відвідуванні людиною заражених місць».

Спроектований ним костюм (рис. 4.1) складався з двох частин:

- а) з гумового мішка, який герметично покривав тіло;
- б) з резервуара чистого повітря, яке витрачалось для дихання легенями, а також для вентиляції простору між мішком і шкірою, оскільки насичення цього простору водяними парами й іншими газоподібними речовинами робить тривале перебування в костюмі протягом, наприклад, 4–5 годин вельми важким.

Пашутін ґрунтувався на результатах досліджень доктора Потехіна, який показав, що наявні у той час у продажу в Росії гутаперчеві матерії не пропускають пари аміаку. Крім того, квадратний аршин досліджених ним зразків такої матерії важив не більше 200–300 г.

Видно, що характерними особливостями розробленого костюма є наявність резервуара для очищеного повітря, пристрій для очищення повітря, яке надходить у резервуар, а також прилад для вентиляції простору між тілом та костюмом.

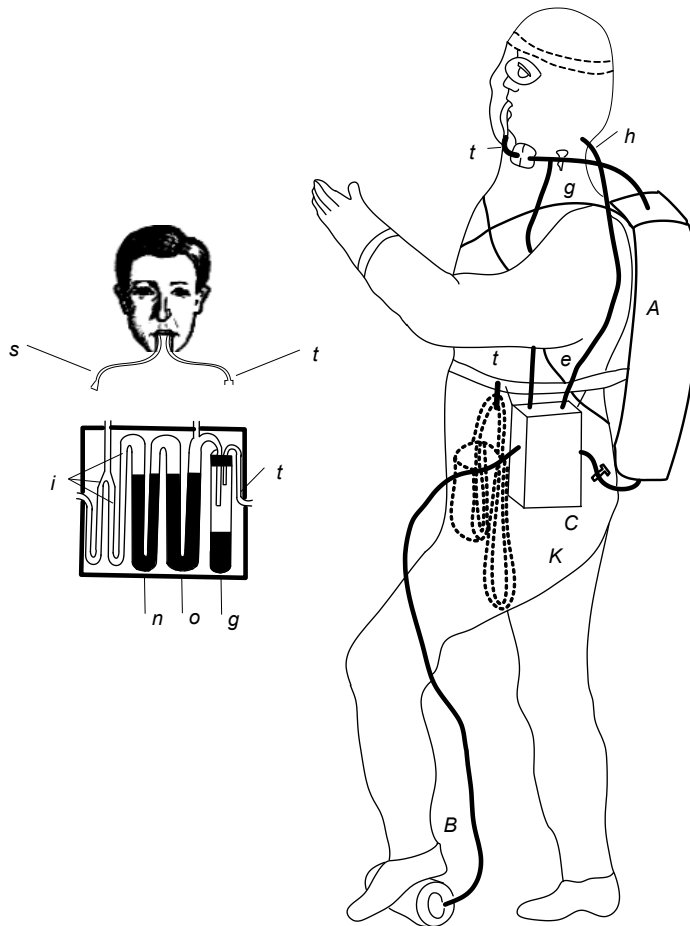


Рисунок 4.1 – Гумовий костюм Пашутіна В.В.

(А – резервуар чистого повітря; В – помпа; С – фільтрувальний прилад для очистки повітря, яке поступає до людини; е – трубки з ватою; п – трубки з пемзою, просоченою сірчаною кислотою; о – трубки з пемзою, просоченою їдким калієм; q – клапани і зволожувач повітря; е-н – трубка для вентиляції костюма; к – вихідний кран; s-t – трубка видиху з клапаном та загубником)

Як подача повітря у фільтрувальний пристрій (що містить вату, їдкий калій і сірчану кислоту з наступним зволоженням), так і вентиляція досягалися за допомогою особливої гумової помпи, яку періодично мав стискати рукою або ногою суб'єкт, що перебував у костюмі. Дихання відбувалося через загубник, оснащений клапанами.

Автор відзначав, що костюм мав бути досить широким, щоб його можна було одягати і в холодну пору року поверх сукні, пристосованої, звичайно, до костюма. Крім цього, костюм мав забезпечувати повну свободу рухів. Для того ж щоб суб'єкт міг користуватися своєю рукою всередині костюма (наприклад, для витирання внутрішньої поверхні скла, через які проникає світло), рукави передбачалося зробити досить широкими біля їх основи. У цьому випадку виймання руки з рукава з рукавичкою може виконуватись без особливих труднощів. Для дезінфекції костюма після роботи передбачало оброблення людини в костюмі протягом 5–10 хвилин у камері з хлором.

Таким чином, цей костюм був фактично прототипом сучасних ізолюючих протигазових костюмів.

4.2. Вплив герметичності ізолюючих засобів захисту шкіри на їх захисні властивості

Час захисної дії ізолюючих засобів захисту шкіри визначається не тільки захисною потужністю матеріалів. На захисні властивості зразка ЗІЗШ в цілому буде справляти вплив конструкція захисного одягу, від якої залежить герметичність. Герметичність ЗІЗШ, як і ізолюючих апаратів, характеризується *коефіцієнтом підсосу*. Будь-який ізолюючий захисний одяг, що застосовується для захисту від НХР, РР, БР, має відносну герметичність. У місцях з'єднань окремих частин та елементів комплексу буде проникати повітря, що містить шкідливі домішки, в підкостюмний простір, тому що під час руху людини її захисний одяг працює як міхи. Ця обставина має велике значення тоді, коли людина в захисному одязі піддається впливу шкідливих речовин у пароподібному і аерозольному стані, що характерно при виконанні тривалих дій на зараженій (забрудненій) місцевості. У цьому випадку час захисної дії залежить від

концентрації парів НХР і коефіцієнта підсосу.

Для орієнтовних розрахунків часу захисної дії комплекту захисного одягу в цілому можна використовувати емпіричну формулу

$$\theta = \frac{Ct_{\text{гран}}}{60C_0K_{\text{п}}}, \quad (4.1)$$

де θ – захисна потужність комплекту, год.;

$Ct_{\text{гран}}$ – гранична токсодоза, мг·хв./л;

C_0 – концентрація парів НХР в повітрі, мг/л;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт підсосу (проникнення).

Порогова токсодоза залежить від токсичності НХР, характеру його дії та типу обмундирування, на яке надітий ізолюючий одяг.

Коефіцієнт підсосу парів НХР у підкостюмний простір визначається конструкцією ЗІЗШ. Але навіть для одного типу ізолюючих костюмів він залежить від часу, оскільки від часу залежить концентрація НХР у підкостюмному просторі.

Однак у тому інтервалі концентрацій, який нас цікавить, коли концентрація парів у підкостюмному просторі C є набагато меншою за концентрацію парів НХР у повітрі C_0 , коефіцієнт підсосу з допустимою похибкою можна прийняти як постійну величину і використовувати для орієнтовних розрахунків.

У табл. 4.1 наведені коефіцієнти підсосу для основних типів ізолюючих ЗІЗШ.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти підсосу деяких видів ЗІЗШ

Найменування ЗІЗШ	Варіант використання	Коефіцієнт підсосу для НХР	
		Зоман	Іприт
Загальновійськовий захисний комплект та КЗП	В рукави	0,15	0,07
	У вигляді комбінезону	0,1	0,07
Л-1		0,015	0,1

Як приклад визначимо час захисної дії ЗЗК, надітого в рукави, на імпрегноване обмундирування третьої категорії від парів іприту і зоману за температури повітря 36°C і концентрації парів 0,01 мг/л. Підставивши вихідні дані у формулу (4.1), отримаємо для іприту $\theta=7$ годин, а для зоману $\theta=2,2$ години.

4.3. Вплив ЗІЗШ на організм людини

Створення ефективних індивідуальних засобів захисту шкіри від отруйних, радіоактивних речовин і бактеріальних засобів при сучасних технічних можливостях змушує, як правило, жертвувати в тій чи іншій мірі гігієнічними властивостями одягу. У зв'язку з цим безсумнівного значення набуває знання специфіки впливу захисних комплектів на організм людини, особливостей їх експлуатації в різних умовах.

Одяг ізолюючого типу істотно ускладнює теплообмін людини із зовнішнім середовищем. Відомо, що в будь-якому фізіологічному стані, при виконанні важкої фізичної роботи або в повному спокої, людина повинна віддавати в навколишнє середовище тепло, що безперервно

утворюється в процесі обміну речовин, зберігаючи температуру тіла на відносно постійному рівні. Порушення динамічної рівноваги між теплопродукцією і тепловіддачею веде або до накопичення тепла в тілі (підвищення температури, перегрів), або до дефіциту його (зниження температури, переохолодження). Границі коливань температури тіла, які людина може переносити без втрат для здоров'я, є надзвичайно вузькими; перевищення їх завжди тягне за собою зниження в тій чи іншій мірі працездатності та створює загрозу виникнення важких термічних уражень.

Тепло віддається в зовнішнє середовище в основному конвекцією, променевим випромінюванням і випаровуванням вологи з поверхні шкіри і через органи дихання. Залежно від теплового стану зовнішнього середовища і тяжкості фізичного навантаження, питомі значення тепловіддачі зазначеними шляхами змінюються завдяки спряженій діяльності багатьох органів і систем людини, об'єднаних у цілісному організмі тонким механізмом складнорефлекторної регуляції теплообміну.

Так, за зниження температури зовнішнього середовища незалежно від волі людини рефлекторно звужуються кровоносні судини шкіри і зменшується об'єм циркулюючої крові; обмежений приплив нагрітої крові від внутрішніх органів і м'язів до поверхні тіла зменшує теплопровідність тканин, знижує температуру шкіри. Все це, врешті-решт, скорочує віддачу тепла радіацією і конвекцією. Одночасно відзначається підвищення м'язового тону і активізація функції деяких залоз внутрішньої секреції (щитовидної залози, наднирників), що має наслідком підвищення інтенсивності обміну речовин, теплопродукції. Потовиділення в даних умовах, як відомо, відсутнє, проте "непомітне" випаровування вологи з поверхні шкіри відбувається безперервно.

За підвищення зовнішньої температури, у міру звуження градієнта температур "тіло людини – навколишнє середовище" в рефлекторному відповіді організму на перший план виступає розширення судин шкіри,

прискорення кровотоку і збільшення об'єму циркулюючої крові за рахунок мобілізації останньої з "депо" (селезінки, печінки) і переходу рідини з клітин органів і тканин. Підвищений приплив нагрітої крові від внутрішніх органів до поверхні тіла знижує теплоізоляційні властивості тканин, підвищує температуру шкіри, посилюючи тим самим радіаційно-конвекційний потік тепла в зовнішнє середовище. Якщо цієї фізіологічної реакції виявляється недостатньо для врівноваження теплопродукції й тепловіддачі, рефлекторно "включаються" резервні механізми теплорегуляції – виділення поту і певною мірою збільшення обсягу легеневої вентиляції, завдяки яким підсилюється випаровування вологи і, отже, охолодження поверхні шкіри та дихальних шляхів. Якщо ж температура зовнішнього середовища досягає температури тіла або перевищує її, виділення і випаровування поту виявляється єдиним способом тепловіддачі.

Для людини, однак, небагато, якими шляхами переважно забезпечується відведення тепла в зовнішнє середовище. Розширення ємності периферичного судинного русла, прискорення кровотоку за збільшеного обсягу циркулюючої крові, необхідні для забезпечення теплопереносу та потовиділення, висувають високі вимоги до серцево-судинній системі. У боротьбі з перегріванням відчувають велику напругу органи дихання, виділення, змінюється співвідношення між процесами збудження і гальмування в центральній нервовій системі, швидкість і характер перебігу складних біохімічних процесів, що становлять сутність обміну речовин – сутність життя.

Будь-яке ланка процесу теплообміну людини – фізіологічні процеси. При експлуатації ізолюючого одягу необхідно враховувати фізіологічні механізми теплорегуляції, специфіку відповідних реакцій на нагрівання і охолодження, ступінь напруги органів і систем, що несуть відповідальність за підтримання теплової рівноваги в кожній даній життєвій ситуації.

Ізолюючий одяг, створюючи навколо людини замкнутий геометричний простір, майже повністю виключає випаровування вологи з поверхні шкіри і чинить опір радіаційно-конвекційній тепловіддачі.

За низьких температур навколишнього середовища ізолюючий одяг у певних межах полегшує підтримання теплового рівноваги організму. Виготовлена з повітронепроникних матеріалів, вона добре захищає від вітру та атмосферних опадів. Надягання ізолюючих костюмів (плащів) поверх зимового обмундирування за температури зовнішнього середовища від 0° до -10°C , або поверх зимового обмундирування та ватника за більш низьких температур, що, до речі, необхідно враховувати при підгонці одягу, забезпечує достатній захист від охолодження. Тривалість безперервної роботи в цих умовах лімітується лише фізичною втомою.

У процесі експлуатації ізолюючого одягу не можна, однак, не враховувати, що випаровування вологи з поверхні шкіри, як зазначалося, ніколи не припиняється. Короткочасні інтенсивні фізичні навантаження викликають потовиділення і в холодну пору року. Натільна білизна та обмундирування взимку можуть вбирати до 1,5–2 кг поту. Зволоження одягу під ізолюючим костюмом підвищує теплопровідність всього ансамблю одягу. За достатньо низьких зовнішніх температур внутрішня поверхня ізолюючих костюмів може покриватися інеєм і льодом. Швидке припинення роботи в ізолюючих костюмах за відсутності можливості змінити білизну (обмундирування) або просушити їх створює умови для виникнення простудних захворювань, переохолодження та обмороження.

За високих температур, коли домінуючою фізіологічною реакцією терморегуляції стає виділення поту, порушення теплової рівноваги у бік накопичення невідведеного тепла веде до прогресуючого наростання температури тіла. Боротьба з перегріванням в цих умовах є найбільш складною і важкою. При цьому, як правило, виникає необхідність регламентації термінів роботи в індивідуальних засобах захисту.

Тривалість безперервного перебування в ізолюючому одязі в умовах теплового дисбалансу залежить від швидкості акумуляції тепла до межі переносимості перегрівання. Її можна прогнозувати, якщо відомі теплові характеристики одягу, зовнішнього середовища і теплопродукції працюючих.

Слід зазначити, що в тілі людини існує досить складне просторове температурне поле, радіальні й аксіальні градієнти температур, обумовлені неоднаковим теплоутворенням у внутрішніх органах і м'язах, різною їх теплоізоляцією, різнозначними умовами для перенесення тепла кров'ю. У стані теплового комфорту середня температура мозку, органів грудної та черевної порожнини ("серцевина") досить стійко підтримується на рівні 37°C . Цій температурі найбільш близько відповідає температура, вимірювана у прямій кишці $T_{\text{пр.к}}$. У цих же умовах оптимального теплового стану температура поверхневих шарів тіла ("оболонки"), зокрема шкіри, в різних точках коливається від $29,4^{\circ}$ (тил стопи) до 34° (лоб, передня поверхня шиї). Середньозважена температура шкіри $T_{\text{ш}}$ дорівнює близько 33° .

Середню температуру тіла людини в цілому T_{CP} , з урахуванням співвідношень маси частин його, які умовно об'єднуються поняттями "серцевина" і "оболонка", розраховують за формулою

$$T_{\text{CP}} = 0,8 \cdot T_{\text{пр.к}} + 0,2 \cdot T_{\text{ш}}. \quad (4.2)$$

Тобто середня температура 37° тіла людини у стані теплового комфорту становить $T_{\text{CP}}^{\text{комф}} = 0,8 \cdot 37^{\circ} + 0,2 \cdot 33^{\circ} = 36,2^{\circ}$.

Численними спостереженнями встановлено, що підвищення температури "серцевини" до $38,6\text{--}39,0^{\circ}$ є межею допустимої напруги терморегуляторного апарату. В цих умовах частота серцевих скорочень

досягає 160–180 уд./хв., різко частішає дихання, розвивається гостре зневоднення внаслідок швидкої втрати великої кількості поту (до 2–3,5 л/год), температура шкіри, вирівнюючись у різних точках, підвищується до 36° , з'являється головний біль, шум у вухах, послаблюється увага, порушується координація рухів. Більшість осіб (виключаючи спортсменів) заявляє про неможливість подальшого перебування в захисному одязі. Перевищення даного температурного рівня є небезпечним, оскільки подальший підйом температури тіла, зокрема через різке збільшення теплопродукції, відбувається швидко, стрибкоподібно, загроза теплового удару виявляється реальною і близькою. Слід мати на увазі, що реакція на перегрівання має виражений індивідуальний характер, залежить від рівня фізичної підготовленості, що передуює адаптації до дії високих температур, і спеціального тренування. В окремих ослаблених осіб старшого віку підвищення температури тіла до $37,6\text{--}37,8^{\circ}$ іноді супроводжується серйозними зрушеннями з боку серцево-судинної системи і зниженням працездатності.

Таким чином, середня гранично допустима температура тіла при перегріванні $T_{\text{CP}}^{\text{пред}}$, обчислена за формулою (4.2), становить $T_{\text{CP}}^{\text{пред}} = 0,8 \cdot 38,8^{\circ} + 0,2 \cdot 36^{\circ} = 38,4^{\circ}$, а гранично допустиме підвищення температури тіла відповідно стану теплового комфорту $\Delta T = T_{\text{CP}}^{\text{пред}} - T_{\text{CP}}^{\text{комф}} = 38,24^{\circ} - 36,2^{\circ} = 2,04^{\circ}$.

Кількість акумульованого тепла Q за досягнення гранично допустимого підвищення температури тіла можна розрахувати за формулою

$$Q = 0,83 \cdot M \cdot \Delta T = 1,7M, \quad (4.3)$$

де 0,83 – середня теплоємність маси тіла людини, ккал/кг·град;

M – маса тіла, кг.

Знаючи вихідні фізіологічні критерії граничного теплового напруги людини, можна скласти рівняння теплового балансу при роботі в тому чи іншому комплекті ізолюючого одягу і розрахувати орієнтовно граничну тривалість перебування в ньому при заданих умовах зовнішнього середовища

$$0,8 \cdot H - q_{\text{к+в}} - q_{\text{д}} = \frac{Q}{\tau}, \quad (4.4)$$

звідки

$$\tau = \frac{1,7 \cdot M}{0,8 \cdot H - q_{\text{к+в}} - q_{\text{д}}}, \quad (4.5)$$

де 0,8 – частка енергетичних витрат, які перетворюються при роботі в тепло;

H – енерговитрати людини, ккал/год;

$q_{\text{к+в}}$ - тепловіддача конвекцією та випромінюванням (радіацією), ккал/год;

$q_{\text{д}}$ – тепловіддача через органи дихання, ккал/год;

τ – час накопичення Q ккал тепла (толерантний час), годин.

У найбільш загальній формі тепловіддача конвекцією та випромінюванням (радіацією) може бути обчислена за формулою

$$q_{\text{к+в}} = r \cdot (T_{\text{ср}} - T_{\text{пов}}) \cdot S_{\text{тіла}}, \quad (4.6)$$

де r – середній загальний коефіцієнт тепловіддачі через одяг конвекцією і радіацією, ккал/(м²·год·град);

$T_{\text{ср}} = 37,2^{\circ}\text{C}$ - медіанальна температура тіла (середина температура між

середньою температурою у стані теплового комфорту і гранично допустимою температурою при перегріванні);

S – площа поверхні тіла, м²;

$T_{\text{пов}}$ – температура повітря, °С.

Площа поверхні тіла людини може бути розрахована за спрощеною формулою Михайлова

$$S = 0,01 \cdot (M + h - 60), \quad (4.7)$$

де M – маса тіла, кг;

h – зріст, см.

Сумарна тепловіддача через органи дихання визначається кількома складовими: нагріванням вдихуваного повітря (2–3%), випаровуванням вологи з поверхні дихальних шляхів (9–10%), утворенням CO₂ (3–4%). Залежно від температури і вологості вдихуваного повітря, обсягу легеневої вентиляції ці величини можуть варіювати. В орієнтовних розрахунках без великої похибки можна користуватися даними, наведеними вище в дужках. В цілому виділення тепла через органи дихання при виконанні фізичних навантажень середньої тяжкості в жарку погоду становить близько 15% від загальної величини енергетичних витрат, тобто $q = 0,15 \cdot H$.

Підставляючи значення тепловіддачі конвекцією і радіацією, а також через органи дихання у формулу (4.5), отримуємо

$$\tau = \frac{1,7 \cdot 70}{0,8 \cdot H - r(37,2 - 24) \cdot S}. \quad (4.8)$$

Приклад. Розрахувати граничний час перебування в костюмі Л-1 ($r = 6,4$ ккал/м²·год·град) рятувальника, який має зріст 170 см, вагу 70 кг ($S =$

1,8 м²) у разі виконання роботи із затратою енергії 450 ккал/год за температур зовнішнього повітря 29⁰, 24⁰, 17⁰.

$$\tau = \frac{1,7 \cdot 70}{0,65 \cdot 450 - 6,4(37,2 - 24) \cdot 1,8} = 0,84 \text{ години} = 50 \text{ хвилин.}$$

Аналогічний розрахунок для 29⁰ і 17⁰ дає відповідно 35 хвилин і 2 години. Керівними документами щодо користування Л-1 встановлені наступні терміни безперервної роботи середньої тяжкості в одязі: за температури +30⁰ і вище – 15–20 хвилин; при температурі +25–29⁰ - 30 хвилин; при температурі +20⁰-+24⁰ - 40 - 50 хвилин, за температури +15⁰–19⁰ – до 1,5 – 2 годин; за температури нижче +15⁰ – більше 3 годин. Ці терміни, як бачимо, задовільно пояснюються наведеними розрахунками.

Таким чином, основним чинником, що лімітує тривалість роботи в ізолюючому одязі за високої температури зовнішнього середовища, є не вичерпання захисної потужності одягу і не фізична перевтома, а прогресуюче наростання явищ перегрівання, "теплове виснаження", обумовлене виключенням основного шляху тепловіддачі в даних умовах – випаровування поту.

4.4. Загальні принципи використання ЗІЗШ

Засоби захисту шкіри загальновійськового призначення можуть використовуватись у двох положеннях – *похідному* й *оперативному*. Для ЗЗК передбачене також положення "напоготові". У "похідному" положенні при діях особового складу в пішому порядку засоби захисту повинні перебувати на людях. При знаходженні особового складу в закритих машинах і різних приміщеннях ЗІЗШ розміщуються поряд із військовослужбовцями або в місцях, що вказуються командирами

підрозділів.

У положенні "напоготові" ЗЗК перекладають з метою максимального підвищення готовності до його використання для захисту від первинної хмари НХР. Необхідність цього може виникнути, зокрема, при здійсненні маршу при щільній посадці особового складу на машинах. В оперативне положення ЗІЗШ переводяться завчасно за розпорядженням старшого начальника або негайно за сигналом оповіщення (командою), а також самостійно. В оперативному положенні плащ ЗЗК може використовуватися у вигляді накидки, надітим у рукава і у вигляді комбінезону. Захисний плащ застосовується у вигляді накидки і надітим в рукави.

У вигляді накидки захисний плащ застосовується при діях на місцевості, зараженій НХР, РР, БР, при виконанні робіт зі спеціальної обробці, при подоланні на відкритих машинах районів, заражених НХР і БР, а також при подоланні зон радіоактивного забруднення на відкритих машинах в умовах інтенсивного пилоутворення.

У вигляді комбінезона захисний плащ використовується при діях у пішому порядку на місцевості з високою травою, посівами, кущами або глибоким снігом, зараженими НХР і БР. Захисні панчохи і рукавички застосовуються в комплекті із захисними плащами при використанні їх надітими в рукави (для плаща ЗЗК і у вигляді комбінезона) у зазначених вище випадках.

Захисні панчохи і рукавички можуть використовуватися тільки із протигазом без захисних плащів у наступних випадках: при подоланні у пішому порядку місцевості, зараженій ОР, БР та РР, на якій відсутні висока рослинність або глибокий сніг, при спеціальній обробці індивідуального спорядження та інструменту.

Зняття ЗІЗШ проводиться, як правило, після виходу особового складу із зараженого району і завершення робіт з часткової спеціальної

обробки зараженої техніки і спорядження. При небезпеці перегріву організму часткову спеціальну обробку зараженого спорядження і техніки можна проводити у протигазах, панчохах і рукавичках без захисних плащів. Якщо виникає небезпека перегріву особового складу, одягненого в ЗІЗШ та діючого на місцевості, зараженій ОР типу VX та іпритом, БР та РР, то захисні плащі можуть бути зняті. Подальші дії особовий склад веде у фільтрувальних ЗІЗШ, захисних панчохах і рукавичках. При діях на місцевості, зараженій зоманом, захисні плащі знімати не можна. У цьому випадку при небезпеці перегріву особовий склад повинен бути виведений із зараженої ділянки по змозі в навітряний бік. Плащі після виходу з атмосфери зоману слід зняти і провітрити, фільтрувальні ЗІЗШ – обробити дегазуючим пакетом ІДПС. ЗЗК, заражені капельнорідкими ОР або БР, відправляються на пункти спеціальної обробки.

КЗП є засобом одноразового використання, і у випадку зараження краплями або аерозолем ОР, або бактеріальними аерозолями знищується. ЗЗК і КЗП, заражені радіоактивним пилом, парами ОР типу VX, іприт, зоман, можуть застосовуватися повторно без проведення їх повної спеціальної обробки при дотриманні відповідних правил, що враховують особливості тієї чи іншої ОР. Надягання спеціального захисного одягу проводиться, як правило, завчасно. Якщо обмундирування заражене РР або БР, слід попередньо провести часткову спеціальну обробку цього обмундирування. Спеціальні засоби захисту шкіри поверх імпрегнованого обмундирування, зараженого капельнорідкими НХР, не надягають.

Контрольні запитання до глави 4:

1. З яких основних частин складається костюм Пашутіна?
2. Від чого залежить час захисної дії ізолюючих засобів захисту шкіри?
3. Який вплив справляють засоби індивідуального захисту шкіри на організм людини за підвищення зовнішньої температури?

4. Який вплив справляють засоби індивідуального захисту шкіри на організм людини за низьких температур навколишнього середовища?
5. В яких положеннях можуть використовуватись засоби захисту шкіри загальновійськового призначення?
6. Де здійснюється зняття засобів індивідуального захисту шкіри?

ГЛАВА 5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ІЗОЛЮЮЧИХ АПАРАТІВ

5.1. Нормування захисних характеристик ізолюючого апарата як характеристик системи «органи дихання – ізолюючий апарат»

Однією з найбільш важливих характеристик ІА є *герметичність* (здатність чинити опір навколишньому середовищу до його потрапляння в органи дихання газодимозахисника). Оскільки герметичною вважається оболонка, газовий обмін через яку не перевищує допустимого, в якості таких показників використовують, в першу чергу, *коефіцієнт захисту* (K_3) та *коефіцієнт проникнення* (K_{Π}) шкідливих речовин через усю конструкцію ІА.

Кількісний показник *коефіцієнта захисту* K_3 позначає кратність зниження концентрації шкідливої речовини, що утримується в повітрі робочої зони, яку забезпечує вказаний засіб захисту:

$$K_3 = \frac{C_m}{C_{om}} = \frac{C_v}{C_{ov}}, \quad (5.1)$$

де C_{om} та C_m – відповідно масова концентрація шкідливих газів, у вдихуваному повітрі й у навколишньому середовищі, мг/м³ ;

C_{ov} , C_v – відповідно об'ємна частка шкідливих газів у вдихуваному повітрі й у навколишньому середовищі, %.

Фактично коефіцієнт захисту можна розглядати як показник, який визначає, у скільки разів нормального повітря у дихальній суміші більше за ту кількість повітря, яка потрапляє до органів дихання з навколишнього середовища, тобто

$$K_3 = \frac{\omega_{\text{л}}}{\omega_{\text{п}}}, \quad (5.2)$$

де $\omega_{\text{л}}$ – легенева вентиляція, л/хв.

$\omega_{\text{п}}$ – проникнення (підсос) навколишнього повітря в систему, л/хв.

Для визначення K_3 реального ізолюючого апарата на практиці, як правило, експериментально визначають *коефіцієнт проникнення* $K_{\text{п}}$ (його ще називають *коефіцієнтом підсосу*), що виражає відношення концентрації шкідливої речовини в підмасковому просторі ІА ($C_{\text{ом}}$, $C_{\text{ов}}$) до концентрації цієї речовини в повітрі ($C_{\text{м}}$, $C_{\text{в}}$) тобто

$$K_{\text{п}} = \frac{C_{\text{ом}}}{C_{\text{м}}} = \frac{C_{\text{ов}}}{C_{\text{в}}}, \quad (5.3)$$

Відповідно коефіцієнт проникнення можна розглядати як

$$K_{\text{п}} = \frac{\omega_{\text{п}}}{\omega_{\text{л}}}. \quad (5.4)$$

Видно, що за величиною коефіцієнта проникнення коефіцієнт захисту ЗІЗОД обчислюється за формулою

$$K_3 = \frac{1}{K_{\text{п}}}. \quad (5.5)$$

Згідно з коефіцієнтом захисту усі фільтрувальні ЗІЗОД поділяються на групи з різним ступенем захисту:

* 1-а група з $K_3 > 100$ гарантує захист за вмісту в повітрі шкідливих

речовин у концентраціях, що перевищують гранично допустимі концентрації більш ніж у 100 разів;

* 2-а – з K_3 від 10 до 100 – гарантує надійний захист від шкідливих речовин при їхньому утриманні в повітрі в кількостях, що перевищують гранично допустимі концентрації від 10 до 100 разів;

* 3-а – з $K_3 < 10$ – гарантує захист від нетоксичних аерозолів, газів і парів при їхньому вмісті в повітрі в кількостях, що не перевищують гранично допустимих концентрацій більш ніж у 10 разів.

Ізолюючі ЗІЗОД повинні забезпечувати перший ступінь захисту. Крім того, коефіцієнт захисту ЗІЗОД (K_3) повинен перевищувати коефіцієнт токсичності (токсичної небезпеки) середовища ($K_{\text{ТН}}$) і зберігати свої захисні властивості після тривалого збереження і транспортування за температури повітря від -20°C до $+60^\circ \text{C}$ та за атмосферного тиску від 70,0 кПа до 125,0 кПа, а також під час роботи в середовищі, яке характеризується сумішню шкідливих газів. Тобто застосування ЗІЗОД у токсичному середовищі припустиме тільки за дотримання умови

$$K_3 \geq K_{\text{ТН}}. \quad (5.6)$$

З цієї умови випливає також, що мінімально необхідний коефіцієнт захисту апарата дорівнює коефіцієнту токсичної небезпеки середовища, який, як це було відмічено у першому розділі, визначається за формулою

$$K_{3\text{min}} = K_{\text{ТН}} = \frac{C_m}{C_{\text{ГДК}_m}} = \frac{C_v}{C_{\text{ГДК}_v}}, \quad (5.7)$$

де $C_{\text{ГДК}_m}$ і $C_{\text{ГДК}_v}$ – відповідно гранично допустима масова концентрація і гранично допустима концентрація об'ємної частки шкідливих газів у

повітрі, яке вдихає газодимозахисник.

Очевидно, що коли коефіцієнт захисту K_3 дорівнює коефіцієнту токсичної небезпеки $K_{\text{ТН}}$ людина буде вдихати повітря з концентрацією, яка дорівнює гранично допустимій.

При одночасному вмісті в навколишньому середовищі кількох газів, які мають однонаправлену дію (вважається, що однонаправлену дію мають окис вуглецю CO , вуглекислий CO_2 та сірчистий SO_2 газ, сірководень H_2S , окиси азоту NO , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_3), коефіцієнт токсичної небезпеки середовища визначається за формулою

$$K_{\text{ТН}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{v_i}}{C_{\text{ГДК}_{v_i}}}, \quad (5.8)$$

де C_{v_i} – обсягова частка i -го шкідливого газу в навколишньому середовищі, % ;

$C_{\text{ГДК}_{v_i}}$ – гранично допустима концентрація i -го шкідливого газу у вдихуваному повітрі, % .

При одночасному вмісті в навколишньому середовищі кількох газів (наприклад, окису вуглецю CO та нервово-паралітичного газу VX), що не мають однонаправленої дії, коефіцієнт токсичної небезпеки середовища визначають як

$$K_{\text{ТН}} = \max_i \frac{C_{v_i}}{C_{\text{ГДК}_{v_i}}}. \quad (5.9)$$

Тобто, в останньому випадку, спочатку визначають коефіцієнт токсичної небезпеки для кожного газу окремо, як це роблять при їх ізольованому впливі. Найбільше з отриманих значень приймають за

коефіцієнт токсичної небезпеки середовища.

На практиці характеристику токсичної небезпеки середовища, яка складається із суміші небезпечних газів, дають через еквівалентний вміст у ньому окису вуглецю CO . Для найгірших умов, в яких дозволяється працювати в ізолюючих автономних ЗІЗОД (а це повітря, яке містить 10% окису вуглецю CO), масова концентрація CO в навколишньому середовищі дорівнює $116,7 \cdot 10^3$ мг/м³. З урахуванням того, що для дихання протягом не більше 4 годин гранично допустима концентрація (в робочій зоні) дорівнює 30 мг/м³, маємо

$$K_{\text{тн}} = \frac{116,7 \cdot 10^3}{30} = 3890. \quad (5.10)$$

Це означає, що в середовищі із зазначеною концентрацією окису вуглецю допускається робота в апараті, у якого коефіцієнт захисту більше 3890. Оскільки під час пожежі виділяються декілька небезпечних речовин, як нормований розмір приймається значення коефіцієнта захисту

$$K_3 \geq 5 \cdot 10^3, \quad (5.11)$$

що забезпечує надійний захист органів дихання, і це необхідно підкреслити, під час перебування газодимозахисника в середовищі, коефіцієнт токсичної небезпеки якого є меншим за коефіцієнт токсичної небезпеки середовища в найгірших умовах пожежі.

5.2. Підтримання герметичності ізолюючого апарата у процесі експлуатації

ІА цілком ізолюють органи дихання людини від навколишнього

середовища. Проте ступінь ізоляції системи “ІА – органи дихання людини” від навколишнього середовища, або ж герметичність цієї системи не може бути абсолютною.

У повітропровідній системі апарата, або її частині в періоди вдихів створюється розрідження, яке залежить від типу дихального апарата й інтенсивності фізичного навантаження. Під дією різниці тисків зовні й усередині системи навколишнє повітря, що містить шкідливі домішки, може проникати двома шляхами:

- через недостатньо затягнуті з’єднання повітропровідної системи, або через ушкодження цілісності її оболонки;
- через нещільне з’єднання лицьової частини апарата з органами дихання людини.

Проникнення у повітропровідну систему шкідливих газів внаслідок дифузії через гумові стінки дихального мішка, як правило, не враховують, нехтуючи ним через його малу величину.

Ступінь герметичності характеризують *коефіцієнтом проникнення в систему “апарат – органи подиху” навколишнього повітря*, що містить шкідливі домішки (коефіцієнтом підсосу (5.3)), або коефіцієнтом захисту (5.1), який однозначно характеризує ефективність ізоляції ІА і органів дихання від навколишнього середовища, а його числове значення показує, у скільки разів вміст шкідливого газу в повітрі, яке вдихується під час перебування в ЗІЗОД, нижче, ніж у навколишньому повітрі. Фізичний зміст зазначеного коефіцієнта подібний такому для коефіцієнта токсичної небезпеки середовища $K_{ТН}$.

Виразимо через $K_{П1}$ і $K_{П2}$ коефіцієнти підсосу відповідно через нещільність повітропроводної системи і нещільності у з’єднанні лицьової частини з органами дихання, а через K_{31} і K_{32} – коефіцієнти захисту відповідно за герметичністю повітропроводної системи й лицьової частини.

Тоді загальний коефіцієнт підсосу K_{Π} дорівнює сумі коефіцієнтів підсосу повітропроводної системи та лицьової частини, оскільки

$$K_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{\omega_{л}} = \frac{\omega_{\Pi 1} + \omega_{\Pi 2}}{\omega_{л}} = \frac{\omega_{\Pi 1}}{\omega_{л}} + \frac{\omega_{\Pi 2}}{\omega_{л}} = K_{\Pi 1} + K_{\Pi 2}. \quad (5.12)$$

У той же час,

$$K_3 = \frac{1}{K_{\Pi}} = \frac{1}{K_{\Pi 1} + K_{\Pi 2}} = \frac{1}{\frac{1}{K_{31}} + \frac{1}{K_{32}}} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}}. \quad (5.13)$$

Тобто можна розглядати окремо герметичності безпосередньо самого апарата та лицьової частини. Проте необхідно пам'ятати, що загальний коефіцієнт захисту K_3 не дозволяється розглядати як суму відповідних коефіцієнтів захисту повітропроводної K_{31} та лицьової K_{32} частин.

Визначення шляхів проникнення дозволило проводити перевірку ступеня герметичності окремо для самого апарата і для його лицьової частини. Так, після створення ІА у процесі експлуатації, а також після кожного розбирання та складання ІА при їх переспорядженні перевіряють ступінь герметичності. Мета перевірки герметичності – контроль якості складання апарата та виявлення можливих ушкоджень, що не були виявлені під час зовнішнього огляду.

Методика перевірки полягає у створенні у повітропроводній системі апарата визначеного надлишкового тиску та контролю за швидкістю його падіння, а потім створенні розрідження і такому ж контролі. Смісл подвійної перевірки полягає в тому, що протікання повітря через деякі зіпсовані гумові деталі (свищі, потріскання) можуть проявлятися як під тиском, так і при розрідженні. Підвищений тиск, як правило, провокує їх

появу.

За результатами перевірки ІА на герметичність за розрідженням можна розрахувати підсос у його повітропровідну систему навколишнього повітря ω_{i1} (л/хв.) за наступною формулою:

$$\omega_{i1} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a}, \quad (5.14)$$

де $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ – швидкість падіння розрідження під час перевірки герметичності,

Па/хв.;

V_p – місткість повітропровідної системи при розрідженні, л;

$p_{вд}$ – опір ІА вдиху при відповідному навантаженні, Па;

$p_{пер}$ – розрідження у повітропровідній системі при перевірці, Па;

m – коефіцієнт, який враховує, що повітропровідна система не є жорсткою;

p_a – атмосферний тиск, Па.

Для вітчизняних ІА приймаються такі значення: $p_{вд} \leq 300$ Па ;
 $m = 0,16$ та $V_p \leq 2,5$ л для регенеративних дихальних апаратів, або $V_p \leq 0,2$ л (показник мертвого простору) для апаратів на стисненому повітрі. Враховуючи можливості (ефективний діапазон вимірювань від 30 до 2500 Па) існуючих диференціальних манометрів, приймають, що перевірочний тиск дорівнює 1000 Па (100 мм водяного стовпа).

Оскільки під час аналізу особливостей роботи в ІА, якщо це не вказано окремо, розглядається виконання роботи середнього ступеня важкості з легеневою вентиляцією $\omega_{\text{е}} = 30$ л/хв., підсос, який дозволить працювати в найгірших умовах пожежі, через повітроподавальну систему

ІА, з урахуванням (5.2), повинен бути

$$\omega_n \leq \frac{\omega_n}{K_3} = \frac{30}{5000} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ л/хв.} \quad (5.15)$$

Це дозволяє, з урахуванням того, що

$$\omega_{n1} < \omega_n, \quad (5.16)$$

визначити з (5.14) вимоги до контролю швидкості падіння розрідження під час перевірки герметичності повітропровідної системи апарата

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} \leq \frac{\omega_{n1} \cdot m \cdot p_a}{0,4 \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}} < \frac{6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,16 \cdot 1,03 \cdot 10^5}{0,4 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{300}{1000}}} = 180 \text{ Па/хв.} \quad (5.17)$$

Для регенеративних дихальних апаратів, які застосовуються у пожежно-рятувальних підрозділах, прийняті такі норми перевірки герметичності: перевірочний тиск (розрідження) – 2 (1) кПа; швидкість падіння тиску (розрідження) – не більше 50 Па протягом першої хвилини після стабілізації перевірочного тиску (розрідження). До речі, аналогічні ж норми, наприклад, у фірми “Дрегерверк” становлять відповідно 0,7 кПа та 100 Па. Тобто наші національні вимоги є більш жорсткими, хоча і вони, і вимоги закордонних виробників повністю відповідають (5.17).

У результаті обчислень за (5.14) видно, що $\omega_{n1} < 1,85 \cdot 10^{-3}$ л/хв., тобто менше 2 см³/хв. При легеневій вентиляції близько 30 л/хв. відповідний коефіцієнт захисту $K_{з1} > 1,64 \cdot 10^4$ (у фірми “Дрегерверк” відповідний коефіцієнт $K_{з1} > 0,75 \cdot 10^4$). Отже, порівнюючи з (5.11), видно, що повітропровідна система ІА, стан якого підтримується у відповідності

до вимог керівних документів, має цілком достатній ступінь герметичності.

5.3. Лицеві частини ізолюючих апаратів

Друга ймовірність проникнення навколишнього повітря – підсоси в зоні з'єднання лицевої частини з органами дихання (ОД). Зазначені підсоси звичайно є більшими, ніж підсоси через нещільності у повітропровідній системі.

Відомі п'ять видів лицевих частин ІА: мундштуковий пристрій із загубником і носовим затискачем, півмаска (іноді розглядають і чвертьмаску, але вона має коефіцієнт захисту ще менше, ніж у півмаски), маска, шолом-маска і шолом.

Мундштуковий пристрій забезпечує надійну ізоляцію органів дихання, оскільки ущільнювальна смуга обтюрації, має невеличку довжину та постійно змочена слиною, а щільність притискання губів до поверхні пластини загубника постійно контролюється газодимозахисником. За результатами дослідження фірми “Дрегерверк”, підсоси під загубник не перевищують рівня підсосів під обтюратор кращих дихальних масок. Тобто коефіцієнт захисту мундштукового пристрою оцінюється величиною $K_{32} \geq 10^4$. Саме мундштуковий пристрій має просту конструкцію, малу масу (до 0,2 кг), мінімальний мертвий простір (до 60 см³), дозволяє швидко вмикатись в апарат і вимикатись з нього.

До вад мундштукового пристрою насамперед відноситься фізіологічно неправильний вид дихання – через рот. Крім того, він, коли довгий час знаходиться у роті, подразнює слизову оболонку. Жувальні м'язи утомлюються. Газодимозахисники не можуть розмовляти. Можливі випадкові зіскакування носового затискача та випадання мундштукового пристрою. В окремих випадках, без очевидних порушень правил роботи в

ізолюючому апараті, коефіцієнт підсосу підвищується до величини $K_{п2} = 0,7 \cdot 10^{-3}$, яка відповідає коефіцієнту захисту $K_{32} = 1.43 \cdot 10^3$, що менше нормованого рівня показника ($K_3 = 5 \cdot 10^3$) за (5.11).

Півмаска (як і чвертьмаска) має недостатню надійність ущільнення в зоні притискання до обличчя людини. Внаслідок цього $K_{32} < 5 \cdot 10^3$ і, відповідно, її під час експлуатації ізолюючих ІА (окрім тих випадків, коли є можливість створити надлишковий тиск чистого повітря в підмасковому просторі) не застосовують.

Дихальна маска герметизується з органами дихання шляхом притискання обтюратора до обличчя по лобно–щічно–підборідній лінії. Маска кріпиться на обличчі за допомогою гумового оголов'я. У нижній частині її корпуса розміщується штуцер, де знаходиться клапан видиху, якщо маска використовується в ІА з відкритою схемою дихання; під час роботи з регенеративними дихальними апаратами штуцер щільно зачиняється заглушкою.

Дихальні маски захищають також очі людини і забезпечують фізіологічно правильний тип дихання – через ніс. Щоб додатково обмежити підсос навколишнього повітря в систему ІА, конструкція маски включає до себе підмасочник. Крім того, завдяки підмасочнику об'єм шкідливого простору зводиться до 180–220 см³. Панорамне небитке скло забезпечує досить високий огляд. У більшості сучасних масок обмеження поля зору становить всього 18–22%, а в деяких і ще менше – до 2–5%. Прозорість скла протягом зміни забезпечується натиранням перед роботою спеціальною рідиною. В деяких масках передбачаються ручні склоочищувачі. Майже всі конструкції мають мембрани, які практично не зменшують гучності і розбірливості переговорів. Дослідження герметичності показали, що коефіцієнт підсосу під правильно вдягнутої і добре підігнаної маску коливається від 10^{-5} до 10^{-6} і не перевищує 10^{-4} . В

той же час наявність на обличчі у людини бакенбардів та довгого волосся підвищує коефіцієнт підсосу на один-два порядки, а наявність бороди – навіть на три. Наявність надлишкового тиску в підмасковому просторі, що характерно роботі в АСП, які обладнані легеневиими автоматами третього типу, суттєво (фактично на два-три порядки) підвищує герметичність лицевої частини.

Хибами масок є також досить велика маса (0,6–0,7 кг), складна конструкція, значний час на одягання та підгонку. Маска виключає обдув обличчя навколишнім повітрям. Для відпрацювання правильної підгонки маски та набуття навичок роботи в ній під час ліквідації надзвичайних ситуацій газодимозахисник повинен заздалегідь навчитись виконанню тренувальних вправ на чистому повітрі та в непридатному для дихання середовищі.

Шолом-маски закривають вуха і велику частину волоссяного покриву голови і не мають оголів'я. Конструкція включає в себе два окремих круглих скла. Внаслідок того, що в шолом-масці відсутній підмасочник, шкідливий простір може становити до 450 см^3 . У той же час за герметичністю шолом-маска значно краще, ніж маска. Величина її коефіцієнта захисту дорівнює близько 10^6 .

Шолом має складну конструкцію, великий шкідливий простір, значну масу та громіздкість і тому, незважаючи на те, що має коефіцієнт захисту є не меншим, ніж 10^7 , у пожежно-рятувальних підрозділах майже не використовується.

Таким чином, коефіцієнт захисту лицевих частин K_{32} , які застосовуються газодимозахисниками, є більшим, ніж 10^4 . З урахуванням раніше отриманого значення K_{31} коефіцієнт захисту безпосередньо самого апарата, яке дозволяє говорити, що $K_{31} > 1.6 \cdot 10^4$, за (5.13) можна стверджувати, що коефіцієнт захисту системи “апарат–органи дихання”

буде більше, ніж $K_3 > 6.2 \cdot 10^3$. Це вище нормованого рівня цього параметра, який за (5.11) дорівнює $5 \cdot 10^3$.

Експериментальна наближена перевірка системи «ізолюючий апарат у зборі з лицевою частиною – органи дихання» показникам захисної ефективності проводиться в камері газоокурення. Для цього газодимозахисник, що включився до апарата, входить до герметичної камери, в якій створюється певна концентрація контрольної шкідливої речовини, та виконує вправи, що імітують реальну роботу.

Необхідна концентрація цієї речовини визначається за формулою

$$C_k = C_{\text{пор}} \cdot K_3, \quad (5.18)$$

де $C_{\text{пор}}$ – порогова концентрація, за якої чоловік починає відчувати запах контрольної речовини, мг/м³;

K_3 – необхідний коефіцієнт захисту.

Як контрольна речовина здебільшого використовуються хлорпінкрин CCINO_2 ($C_{\text{пор}} = 0,6 \text{ мг/м}^3$) або аміак NH_3 ($C_{\text{пор}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$). Порогові концентрації цих речовин є нешкідливими для організму людини, але легко розпізнаються за запахом та подразнювальною дією. Якщо в таких умовах газодимозахисник не відчуває наявності контрольної шкідливої речовини у повітрі, яке він вдихає, вважається, що коефіцієнт захисту апарата, що перевіряється, разом із лицевою частиною не нижче допустимого.

5.4. Типові розрахунки загальної захисної ефективності

Задача 1. Оцінити можливість застосування на пожежі регенеративного дихального апарату, який обладнано панорамною

маскою, якщо під час виконання перевірки № 2 створене всередині апарату розрідження 140 мм водяного стовпчика зменшилось на 10 мм на протязі першої хвилини після стабілізації розрідження.

Припущення:

- згідно із тактико-технічними характеристиками регенеративних дихальних апаратів можна вважати, що місткість повітропровідної системи при розрідженні V_p не перевищує 2,5 л; опір вдиху $p_{вд}$ менше 300 Па, а коефіцієнт m , який враховує, що повітропровідна система не є жорсткою, дорівнює 0,16;

- оскільки не указано характер роботи, розрахунки проводяться для випадку виконання роботи середнього ступеня важкості, тобто легенева вентиляція $\omega_{л}$ дорівнює 30 л/хв.;

- оскільки апарат обладнано панорамною маскою, вважаємо, що коефіцієнт захисту лицевої частини K_{32} не менше 10000.

Послідовність розв'язання:

1. Визначити підсос до повітропровідної системи ізолюючого апарата:

$$\omega_{п1} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 100 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{300}{1400}}}{0,16 \cdot 10^5} = 0,0029 \text{ л/хв.}$$

2. Визначити коефіцієнт захисту безпосередньо апарата:

$$K_{31} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{п1}} \geq \frac{30}{0,0029} = 10369.$$

3. Визначити загальний коефіцієнт захисту:

$$K_3 = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} \geq \frac{10369 \cdot 10000}{10369 + 10000} = 5090.$$

4. Оцінити можливість роботи в апараті, який розглядається:

Оскільки загальний коефіцієнт захисту розглянутого РДА у зборі з панорамною маскою більше 5000 ($K_3=5090 > 5 \cdot 10^3$), він забезпечує надійний захист органів дихання газодимозахисника від навколишнього середовища під час його роботи на пожежі.

Задача 2. Оцінити можливість застосування на пожежі апарата на стисненому повітрі, обладнаною шолом-маскою, якщо під час виконання перевірки № 2 створене всередині апарата розрідження 140 мм водяного стовпчика зменшилось на 10 мм протягом першої хвилини після стабілізації розрідження, а клапан вдиху легеневого автомата спрацював при розрідженні 25 мм водяного стовпчика.

Припущення:

- згідно із тактико-технічними характеристиками апаратів на стисненому повітрі можна вважати, що місткість повітроподавальної системи при розрідженні V_p не перебільшує мертвого простору АСП (тобто 0,2 л); а коефіцієнт m , який враховує, що повітроподавальна система не є жорсткою, дорівнює 0,16;
- оскільки не указано характер роботи, а робота в АСП являє собою в більшості випадків важку, яка супроводжується природнім відпочинком, вважаємо за аналогією з показниками, рекомендованими фірмою «Дрегерверк», – легенева вентиляція $\omega_{л}$ дорівнює 40 л/хв.;
- оскільки апарат обладнано шолом-маскою, вважаємо, що коефіцієнт захисту лицевої частини K_{32} не менше 10^6 .

Послідовність розв'язання:

1. Визначити підсос до повітропровідної системи ізолюючого апарата:

$$\omega_{\text{п1}} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{вд}}}{p_{\text{пер}}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 100 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{250/1400}}{0,16 \cdot 10^5} = 0,00021 \text{ л/хв.}$$

2. Визначити коефіцієнт захисту безпосередньо апарату:

$$K_{31} = \frac{\omega_{\text{л}}}{\omega_{\text{п1}}} \geq \frac{40}{0,00021} = 1,89 \cdot 10^5$$

3. Визначити загальний коефіцієнт захисту:

$$K_3 = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} \geq \frac{1,89 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{1,89 \cdot 10^5 + 10^6} = 1,59 \cdot 10^5$$

4. Оцінити можливість роботи в апараті, який розглядається.

Оскільки загальний коефіцієнт захисту розглянутого АСП у зборі з шолом-маскою більше 5000 ($K_3 = 1,59 \cdot 10^5 > 5 \cdot 10^3$), він забезпечує надійний захист органів дихання газодимозахисника від навколишнього середовища під час його роботи на пожежі.

Задача 3. Оцінити можливість застосування на пожежі регенеративного дихального апарата, у разі його обладнання як панорамною маскою, так і шолом-маскою, якщо під час виконання перевірки № 2 створене всередині апарата розрідження 100 мм водяного стовпчика зменшилось на 15 мм протягом першої хвилини після

стабілізації розрідження, а клапан вдиху легеневого автомата спрацював при розрідженні 30 мм водяного стовпчика.

Припущення – аналогічні до перших двох задач.

Послідовність розв'язання:

1. Визначити підсос до системи ізолюючого апарата:

$$\omega_{\text{п1}} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{вд}}}{p_{\text{пер}}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 150 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{300}{1000}}}{0,16 \cdot 10^5} = 0,0051 \text{ л/хв.}$$

2. Визначити коефіцієнт захисту безпосередньо апарата:

$$K_{31} = \frac{\omega_{\text{л}}}{\omega_{\text{п1}}} \geq \frac{40}{0,0051} = 5,84 \cdot 10^3.$$

3. Визначити загальний коефіцієнт захисту:

а) у разі обладнання апарата панорамною маскою:

$$K_3 = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} \geq \frac{5,84 \cdot 10^3 \cdot 10^4}{5,84 \cdot 10^3 + 10^4} = 3,69 \cdot 10^3.$$

б) у разі обладнання апарата шолом-маскою:

$$K_3 = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} \geq \frac{5,84 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{5,84 \cdot 10^3 + 10^6} = 5,81 \cdot 10^3.$$

4. Оцінити можливість роботи в апараті, який розглядається:

а) у разі обладнання розглянутого РДА панорамною маскою він не забезпечує надійного захисту газодимозахисника, оскільки загальний коефіцієнт захисту менше 5000 ($K_3=3,69 \cdot 10^3 < 5 \cdot 10^3$);

б) у разі обладнання розглянутого РДА шолом-маскою він забезпечує надійний захист газодимозахисника, оскільки загальний коефіцієнт захисту більше 5000 ($K_3=5,81 \cdot 10^3 > 5 \cdot 10^3$).

5.5. Робота газодимозахисників в умовах, які суттєво відрізняються від найгірших умов пожежі

5.5.1. Аналіз особливостей роботи в ізолюючих апаратах, що мають різний принцип дії

Реалізація положень Кодексу цивільного захисту України поставила нові завдання перед пожежно-рятувальними підрозділами. Однією з нових задач стала участь особового складу газодимозахисної служби, який безпосередньо працює в непридатному для дихання середовищі, в ліквідації надзвичайних ситуацій, умови яких суттєво відрізняються від найгірших умов пожежі. А саме у відповідності до останніх були сформульовані тактико-технічні вимоги до засобів індивідуального захисту органів дихання, в першу чергу до загального коефіцієнта захисту, який повинен бути не менше 5000. Тобто невідомо, наскільки робота в таких апаратах є небезпечною для газодимозахисників навіть при повному дотриманні нормативних вимог.

Характерним прикладом цього є процес ліквідації озброєння, яке залишилось на території України після розпаду Радянського Союзу, на промислових об'єктах нашої країни. Наприклад, на Павлоградському хімічному заводі відбувається ліквідація компонентів ракетного палива.

Цей процес відбувається шляхом спалювання пального та окислювача на станціях нейтралізації компонентів ракетного палива. У випадку надзвичайної ситуації, наприклад пожежі, особовий склад, який буде залучатись до її ліквідації, перебуває під впливом не тільки звичайних продуктів горіння, але й компонентів ракетних палив, а також продуктів, які створюються під час горіння парів та розчинів компонентів ракетного палива.

Ситуація, яка розглядається, ускладнюється тим, що в умовах пожежі продукти горіння та термічного розпаду, котрі входять до складу диму, впливають на організм людини комплексно і через це становлять небезпеку для життя навіть за незначних концентрацій. Основу компонентів ракетного пального та речовин, які утворюються в результаті їх розпаду, є різноманітні окиси азоту. Гранично допустима концентрація окисів азоту (в перерахунку на NO_2) дорівнює 5 % і становить $0,26 \cdot 10^{-3}$ мг/м³ за об'ємом. В умовах звичайної пожежі концентрація окисів азоту не перевищує 1% за об'ємом і дорівнює $1,92 \cdot 10^4$ мг/м³, але усередині станції при аварії може бути і ситуація, коли концентрація окисів азоту $C_{(100\%NO_2)}$ буде наближатись до $1,92 \cdot 10^6$ мг/м³ (100%), що відповідає коефіцієнту токсичної небезпеки

$$K_{\text{ТН}}(100\%NO_2) = \frac{C_{(100\%NO_2)}}{C_{\text{ГДК } NO_2}} = 3.85 \cdot 10^5, \quad (5.19)$$

де $C_{\text{ГДК } NO_2} = 5$ мг/м³ – гранично допустима концентрація окисів азоту (в перерахунку на NO_2).

При цьому коефіцієнт можливого інгаляційного отруєння, який визначає шкідливий вплив на людину, враховуючи те, що середньосмертельна концентрація окисів азоту дорівнює 500 мг/м³, буде

$$K_{\text{міо}} = \frac{1,92 \cdot 10^6}{500} \approx 3,85 \cdot 10^3. \quad (5.20)$$

Оскільки цей коефіцієнт значно більше 300, така ситуація вважається надзвичайно небезпечною і вимагає додаткових заходів щодо зменшення шкідливого впливу на людину. Крім цього треба враховувати також те, що біля осередку пожежі знижується відсотковий вміст кисню. Це також небезпечно для життя людини. Проте основним засобом захисту органів дихання персоналу, який обслуговує станцію нейтралізації, у тому числі і пожежного розрахунку, що входить до складу аварійно-рятувальної команди, є фільтрувальні протигази типу ПРВ. Вказані вище обставини свідчать про те, що використання цього типу протигазів не забезпечує захисту органів дихання при гасінні пожежі або аварії на станції нейтралізації ракетного пального, а також під час ліквідації їх наслідків.

На озброєнні аварійно-рятувальної команди стоять також протигази шлангові, але і ці протигази не можна використовувати при пожежах або інших надзвичайних ситуаціях на станції нейтралізації. Це обумовлено тим, що протигази цього типу призначені для захисту органів дихання, очей та обличчя під час ведення робіт в ємностях та колодязях, які не пов'язані з рухом на відстань більше 20 метрів. Крім того, робота повинна бути короткочасною (це пов'язано з високим опором диханню), а умови роботи мають виключити можливість заплутування шлангів.

Таким чином, в Україні можуть виникнути надзвичайні ситуації, роботи з ліквідації яких будуть вимагати від газодимозахисників роботи в автономних ізолюючих апаратах, що повинні мати загальний коефіцієнт захисту, значно вищий за нормований.

Аналіз лицевих частин відразу показує, що особовому складу можна буде працювати тільки в лицевих частинах типу шолом-маска або маска з підпором повітря в підмасковий простір, оскільки коефіцієнт захисту

маски або мундштукового пристрою з носовим затискачем є значно меншим за коефіцієнт токсичної небезпеки середовища, яке розглядається

$$K_{31} \geq 5000 < K_{\text{ТН}} = 385000. \quad (5.21)$$

Тим більше, це відноситься і до мундштукового пристрою із загубником та носовим затискачем, оскільки він не тільки має низький коефіцієнт захисту, але й не закриває обличчя, на поверхні якого, особливо тоді, коли воно буде вологим, окиси азоту створять азотну кислоту.

Аналіз регенеративних дихальних апаратів показує, що при виконанні вимог як виробника ($\Delta p / \Delta t < 50 \text{ Па/хв.}; V_p \leq 2,5 \text{ л}; p_{\text{вд}} = 300 \text{ Па}; m = 0,16; p_{\text{пер}} = 1000 \text{ Па}$), так і Настанови з ГДЗС (у цьому випадку $\Delta p / \Delta t < 30 \text{ Па/хв.}$) підсос (5.14) до повітропровідної системи ІА дорівнюватиме

$$\omega_{\text{п1}} = \begin{cases} 0,00166 \text{ л/хв.} - \text{при виконанні умов виробника;} \\ 0,001 \text{ л/хв.} - \text{при виконанні умов Настанови з ГДЗС.} \end{cases} \quad (5.22)$$

При легеневій вентиляції близько 30 л/хв. відповідний коефіцієнт захисту РДА

$$K_{31} \geq \frac{\omega_{\text{п}}}{\omega_{\text{п1}}} \approx \begin{cases} 1,8 \cdot 10^4 - \text{при виконанні умов виробника;} \\ 3 \cdot 10^4 - \text{при виконанні умов Настанови з ГДЗС.} \end{cases} \quad (5.23)$$

Оскільки отриманий результат (5.23), як в першому, так і у другому випадку є значно меншим за $K_{\text{ТН}} (100\% \text{ NO}_2) = 3,85 \cdot 10^5$, зрозуміло, що у випадку, який розглядається, працювати в РДА не можна.

Аналіз апаратів на стисненому повітрі показує, що для вітчизняних

АСП заводи-виробники встановлюють такі значення: $\Delta p / \Delta t < 50 \text{ Па/хв.}$; $V_p \approx 0,2 \text{ л}$ (відповідає величині мертвого простору); $p_{\text{вд}} = 300 \text{ Па}$; $m = 0,16$; $p_{\text{пер}} = 1000 \text{ Па}$. Діюча Настанова з газодимозахисної служби дещо підвищує вимогливість. В першу чергу це стосується швидкості падіння встановленого розрідження, оскільки там встановлено $\Delta p / \Delta t < 30 \text{ Па/хв.}$ У результаті обчислень (5.14) видно, що

$$\omega_{\text{п1}} = \begin{cases} 0,000133 \text{ л/хв.} - \text{при виконанні умов виробника,} \\ 0,00008 \text{ л/хв.} - \text{при виконанні умов Настанови з ГДЗС.} \end{cases} \quad (5.24)$$

При легеневій вентиляції близько 40 л/хв. відповідний коефіцієнт захисту АСП

$$K_{31} \geq \frac{\omega_{\text{л}}}{\omega_{\text{п1}}} \approx \begin{cases} 3 \cdot 10^5 - \text{при виконанні умов виробника;} \\ 5 \cdot 10^5 - \text{при виконанні умов Настанови з ГДЗС.} \end{cases} \quad (5.25)$$

Отже, порівнюючи з (5.19), видно, що апарат на стисненому повітрі у тому випадку, коли він відповідає вимогам Настанови з ГДЗС, має цілком достатній ступінь герметичності.

Це стосується і системи „апарат – лицева частина” у разі обладнання АСП маскою з підпором повітря в підмасковому просторі, оскільки в цьому випадку загальний коефіцієнт захисту

$$K_3 (\text{Мз підпором}) = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} \geq 477524 > 3,85 \cdot 10^5. \quad (5.26)$$

В той же час загальний коефіцієнт захисту системи „апарат – лицева частина” у разі обладнання апарата шолом-маскою дорівнюватиме

$$K_3(\text{ШМ}) \geq 333986 < 3,85 \cdot 10^5. \quad (5.27)$$

Тобто під час ліквідації надзвичайної ситуації, що розглядається, газодимозахисник в апараті на стисненому повітрі, обладнаному шолом-маскою і який відповідає вимогам Настанови з газодимозахисної служби, може зазнавати дії небезпечних чинників компонентів ракетного палива.

Аналіз (5.27) показує, що $K_{\text{ТН}}(100\%NO_2)$ не набагато перевищує $K_3(\text{ШМ})$. Це дозволяє висунути гіпотезу про те, що за рахунок підвищення вимог до показників, які створюються під час виконання другої перевірки апарата на стисненому повітрі, можна, у разі їх дотримання, забезпечити відповідний захист газодимозахисника.

Враховуючи співвідношення (5.5) між коефіцієнтами захисту та підсосу для визначення параметрів, які необхідно створити і проконтролювати під час другої та третьої перевірок, спочатку визначимо, який коефіцієнт підсосу $K_{\text{І}1}$ має забезпечити безпосередньо сам АСП

$$\begin{aligned} K_{\text{П1}} &= K_{\text{П}} - K_{\text{П2}}(\text{Ш}-\text{М}) = \frac{1}{K_3} - \frac{1}{K_{32}(\text{Ш}-\text{М})} = \\ &= \frac{1}{K_{\text{ТН}}(100\%NO_2)} - \frac{1}{K_{32}(\text{Ш}-\text{М})} \leq 1,6 \cdot 10^{-6}. \end{aligned} \quad (5.28)$$

Це дозволяє визначити можливий підсос у повітроподавальну систему АСП навколишнього повітря $\omega_{\text{п1}}$ за результатами перевірки апарата на герметичність з розрідження за наступною формулою

$$\omega_{\text{п1}} \leq K_{\text{П1}} \cdot \omega_{\text{л}} \approx 0,000064 \text{ л/хв}. \quad (5.29)$$

Якщо за аналогією з перевіркою герметичності РДА на високий тиск

прийняти $\delta_{\text{іаџ}} = 2000 \text{Іа}$, то з (5.14) можна визначити, якою повинна бути швидкість падіння розрідження під час перевірки герметичності

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} \leq \frac{\omega_{\text{п1}} \cdot m \cdot p_a}{0,4 \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{вд}}}{p_{\text{пер}}}}} = \frac{0,000064 \cdot 0,16 \cdot 100000}{0,4 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{300}{2000}}} = 33,05 \text{Па/хв.} \quad (5.30)$$

Таким чином, щоб забезпечити безпеку газодимозахисників у випадку використання ними апаратів на стисненому повітрі, обладнаних шолом-маскою, під час ліквідації надзвичайної ситуації в епіцентрі вибуху компонентів ракетного палива необхідно підвищити рівень вимог до параметрів, які контролюються в ході виконання другої та третьої перевірок АСП. А саме під час перевірки герметичності апарата слід створити перевірочне розрідження $p_{\text{пер}} = 2000 \text{Па}$, після стабілізації якого швидкість падіння розрідження $\Delta P / \Delta t$ не повинна перевищувати 3 мм водяного стовпчика за хвилину.

Забезпечення герметичності АСП з шолом-маскою за рахунок підвищення рівня вимог до показників, які контролюються, дозволило висунути гіпотезу, що таким же чином можна забезпечити достатню герметичність регенеративних дихальних апаратів. При цьому лицеві частини у вигляді масок із підпором повітря в підмасковий простір розглядати недоцільно, оскільки заводи-виробники як в Україні, так і за кордоном не передбачають комплектування ними регенеративних дихальних апаратів

Виконані розрахунки показують, що у практичній діяльності оперативно-рятувальних підрозділів на базах та постах ГДЗС забезпечити достатню герметичність РДА не представляється можливим.

Так, якщо прийняти $p_{\text{пер}} = 2000 \text{Па}$, то швидкість падіння розрідження повинна бути

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} \leq \frac{\omega_{п1} \cdot m \cdot p_a}{0,4 \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}} = \frac{0.000064 \cdot 0,16 \cdot 100000}{0,4 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{300/2000}} = 1,98 \text{ Па/хв.}, \quad (5.31)$$

тобто менше 0,2 мм водяного стовпа за хвилину. Такий параметр без спеціального метрологічного обладнання зафіксувати не можна.

З іншого боку, якщо уявити, що можна проконтролювати швидкість падіння розрідження 10 Па/хв. (1 мм водяного стовпчика реометра-манометра за хвилину), то можна розрахувати показник $p_{пер}$ розрідження у повітропровідній системі при другій перевірці. Враховуючи те, що $V_p(\text{РДА}) \leq 2,5 \text{ л}$, $m = 0,16$ та $p_{вд} \leq 300 \text{ Па}$, видно, що

$$p_{пер} \geq 28610 \text{ Па} = 2861 \text{ мм вод. ст.} = 2,861 \text{ м вод. ст.} \quad (5.32)$$

Створити розрідження в повітропровідній системі РДА, яке відповідає (5.29), не тільки на постах, але й на базах ГДЗС не є можливим.

Таким чином, для регенеративних дихальних апаратів єдиним шляхом, який дозволить перевірити можливість їх застосування в найгірших умовах надзвичайної ситуації з викидами небезпечних хімічних речовин, є експериментальна наближена перевірка апаратів за показниками захисної ефективності в камері газоокурення.

Враховуючи (5.18) та порогові концентрації контрольних речовин (наприклад, хлорпікрину або аміаку), в камері необхідно створити наступну концентрацію:

$$C_k = C_{\text{пор}} \cdot K_3 \geq \begin{cases} 0.6 \cdot 3.85 \cdot 10^5 = 2.31 \cdot 10^5 \text{ мг/м}^3 = 231 \text{ мг/л}, \\ \text{якщо в якості контрольної речовини} \\ \text{застосовується хлорпікрин}; \\ 0.5 \cdot 3.85 \cdot 10^5 = 1.925 \cdot 10^5 \text{ мг/м}^3 = 192,5 \text{ мг/л}, \\ \text{якщо в якості контрольної речовини} \\ \text{застосовується аміак.} \end{cases} \quad (5.33)$$

Аналіз (5.33) показує, що концентрація контрольних речовин вимагає застосування одночасно з ізолюючими апаратами ізолюючих костюмів, комплекс яких повинен забезпечити перший або другий рівень захисту. Так, якщо в якості небезпечної хімічної речовини, в умовах впливу якої необхідно працювати газодимозахиснику, є хлорпікрин, то його концентрація, з якої необхідно забезпечити перший рівень захисту, починається з 180 мг/л.

5.5.2. Експериментальна перевірка

5.5.2.1. Методика експериментальних досліджень

Особливістю проведення експериментальних досліджень є застосування обладнання, яке використовується при перевірці герметичності ізолюючого апарата під час виконання перевірки № 2. Відповідно і порядок дій відповідав тому, який регламентується Настановою з газодимозахисної служби або експлуатаційно-технічною документацією на апарат заводу-виробника. Під час перевірки апаратів, які обладнуються маскою або маскою з підпором повітря в підмасковий простір, застосовувався (див. фотографію 5.1) модернізований пристрій "АЕРОТЕСТ".



Фотографія 5.1 – Модернізований АЕРОТЕСТ

Безпосередні експериментальні дослідження передбачали:

1. Зборку схеми згідно з вимогами перевірки № 2 апарата на стисненому повітрі. Вентиль повітряного балона зачинений.

2. Створення перевірного розрідження $p_{\text{пер}}$ в підмасковому просторі в діапазоні:

- 1750–2100 Па;

- 1400–1750 Па;

- 1100–1400 Па;

- 1000–1100 Па;

- 750–1000 Па

3. Замір для кожного випадку після стабілізації розрідження часу (хв.) та величини падіння (Па) розрідження.

4. Замір розрідження $p_{\text{вд}}$, за якого спрацьовує легеневий автомат. Для цього, не від'єднуючи маски від реометра-манометра, відкривався перекиривний вентиль балона. Створюючи розрідження в корпусі легеневого автомата, відмічалось показання реометра-манометра, за якого спрацьовував клапан вдиху легеневого автомата. Цей факт визначався за

характерним шумом повітря, яке виходило.

Перед розрахунком показників, які характеризують герметичність ізолюючого апарата, приймалось припущення, що на початку роботи в апараті легенева вентиляція становить близько 20 л/хв. (легка робота), а під час роботи в АСП легенева вентиляція становить 40 л/хв. (вважається, що в апаратах на стисненому повітрі виконується важка робота, яка не може тривати довго. В результаті чого відбувається природний перехід до відпочинку).

За отриманими експериментальними результатами виконувались розрахунки:

- швидкості падіння розрідження $\Delta p / \Delta t$ [Па/хв.];
- підсосу (5.14) в повітроподавальну систему АСП $\omega_{\text{пл}}$ [л/хв.];
- герметичності K_{31} апарата (5.2);
- герметичності системи «апарат – лицева частина» (5.13).

Враховуючи велику кількість експериментальних результатів та прості розрахункові співвідношення (5.14), (5.2) та (5.13), для визначення показників герметичності можна використовувати Microsoft Excel.

5.5.2.2. Аналіз отриманих результатів

Отримані результати, які в узагальненому виді наведені на рисунках 5.1–5.3, дозволяють зробити ряд висновків. В першу чергу видно експериментальне підтвердження того факту, що апарати на стисненому повітрі можуть забезпечити таку ізоляцію системи "апарат – органи дихання газодимозахисника", за якої в них можна працювати за найгірших умов, що можуть бути в Україні. Але при цьому необхідно мати на увазі наступне:

- апарат повинен бути оснащений шолом-маскою або маскою з підпором повітря в підмасковий простір (рис. 5.3);

- з'єднання АСП з вибраною лицевою частиною має бути штуцерним (рис. 5.1, 5.2).

Оскільки штуцерне з'єднання є дуже вимогливим до поводження з ним під час експлуатації, апарати на стисненому повітрі в підрозділах, що будуть першими залучатись до ліквідації, умови яких є значно гіршими за найгірші умови пожежі, доцільно закріплювати індивідуально, а особовий склад ГДЗС цих підрозділів повинен самостійно виконувати другу перевірку (під контролем та за допомогою майстрів ГДЗС). Враховуючи велику чутливість підсосу, а відповідно і герметичності апарата до тиску, за якого спрацьовує легеневий автомат (рис. 5.1, 5.2), слід розглянути можливість апаратного зменшення цього тиску до 200 Па. Звернути особливу увагу під час чищення та миття апарата на сушку легеневого автомату. Постійно контролювати відсутність злипання клапана до сідла клапану. Вимагає необхідності модернізація пристроїв для перевірки герметичності ізолюючих апаратів. В першу чергу необхідно доопрацювати АЕРОТЕСТ, оскільки на цей час він не дозволяє проводити перевірку апаратів, обладнаних масками та масками з підпором повітря в підмасковому просторі. Доцільно поступово перейти на застосування штуцерного з'єднання апарата з лицевою частиною газодимозахисника. Враховуючи суттєву різницю у вартості штуцерного та різьбового з'єднання (майже в десять разів), останнє застосовувати на рятувальному пристрої.

5.5.3. Особливості роботи в комплексах засобів індивідуального захисту (КЗІЗ) під час ліквідації аварій з викидами небезпечних хімічних речовин у найбільш небезпечній зоні

Враховуючи те, що ізолюючий апарат, який захищає органи дихання, може знаходитись як всередині (і в цьому випадку токсична небезпека

навколишнього повітря буде зменшуватись як захисними властивостями костюма, так і захисними властивостями ізолюючого апарата), так і ззовні ізолюючого костюма (в цьому випадку токсична небезпека для газодимозахисника визначається тим коефіцієнтом захисту костюма або апарата, який є меншим), загальний коефіцієнт захисту в цьому випадку може розглядатись як

$$K_3 = \begin{cases} K_3(\text{IA}) \cdot K_3(\text{IK}), & \text{якщо ізолюючий апарат} \\ & \text{знаходиться всередині костюму;} \\ \min(K_3(\text{IA}); K_3(\text{IK})), & \text{якщо ізолюючий апарат} \\ & \text{знаходиться ззовні костюму;} \end{cases} \quad (5.34)$$

де $K_3(\text{IA})$ – коефіцієнт захисту ізолюючого апарату;

$K_3(\text{IK})$ – коефіцієнт захисту ізолюючого костюму.

Відповідно до «prEN 943-1:2002 - Protective clothing against liquid and gaseous chemicals, including liquid aerosols and solid particles Part 1: Performance requirements for ventilated and non-ventilated “gas-tight” (Type 1) and “non-gas-tight” (Type 2) chemical protective suits» захисні властивості матеріалу для ізолюючого костюма повинні забезпечити захист від газоподібного хлору з масовою концентрацією $C_m = 70$ мг/л, а гранично допустима концентрація хлору в робочій зоні дорівнює $C_{\text{гдк}}(\text{Cl}) = 1$ мг/м³

$$K_3(\text{IK}) \geq \frac{C_m}{C_{\text{гдк}}(\text{Cl})} = 7 \cdot 10^4. \quad (5.35)$$

Ізолюючі апарати у зборі з лицевою частиною відповідно до (5.11) повинні забезпечувати $K_3(\text{IA}) \geq 5 \cdot 10^3$. Таким чином видно, що, коли ізолюючий апарат вдягнуто поверх ізолюючого костюма, в загальному випадку в питаннях забезпечення безпеки газодимозахисників потрібно орієнтуватись на захисні властивості апарата.

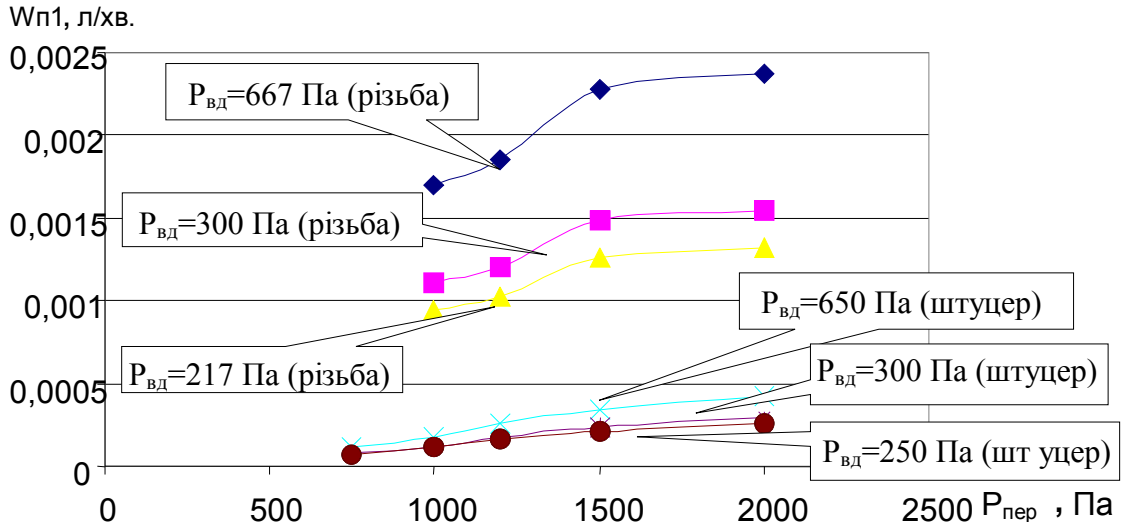


Рисунок 5.1 – Залежність підсоу АСП від перевірного тиску

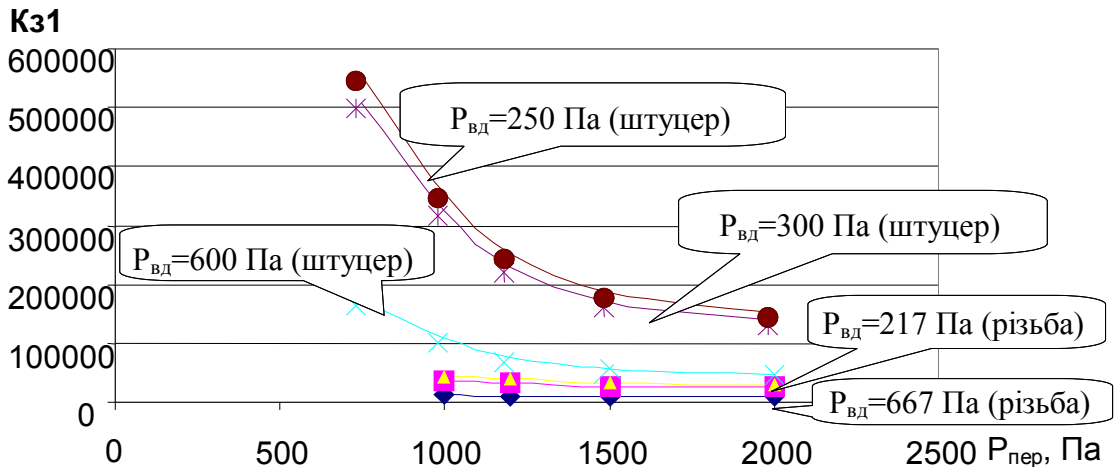


Рисунок 5.2 – Залежність герметичності АСП від перевірного тиску

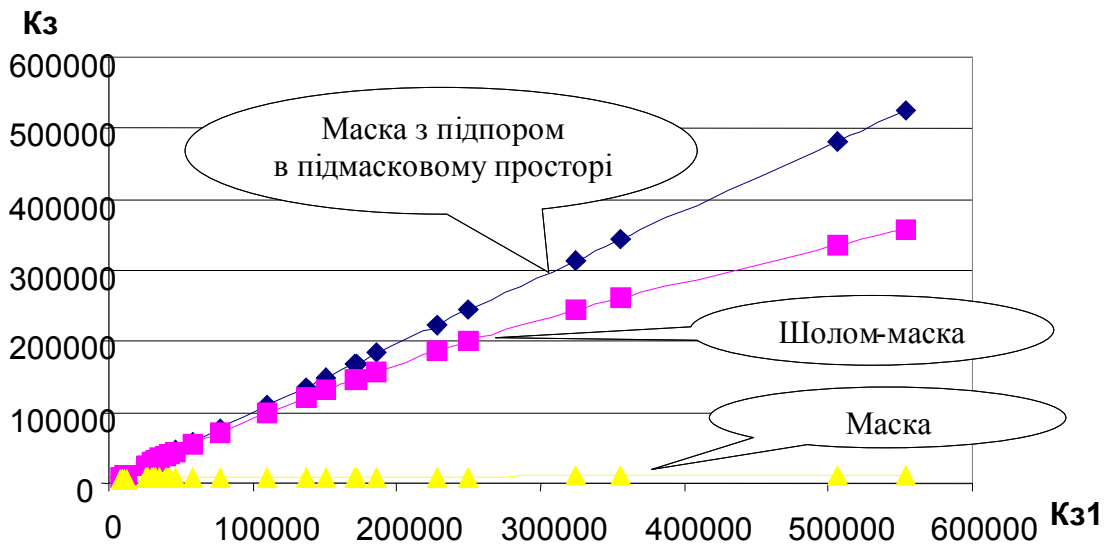


Рисунок 5.3 – Залежність загального коефіцієнта захисту від коефіцієнта захисту лицьової частини

Це дозволяє визначити ті показники масових концентрацій небезпечних хімічних речовин, за яких робота рятувальників стає небезпечною для їх здоров'я. Зокрема у випадку ліквідації аварій з викидами хлору масова концентрація, вище якої не можна працювати газодимозахисникам, буде дорівнювати

$$C_m(Cl) \leq K_3(IA) \cdot C_{mГДК}(Cl) = 5 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3 = 5 \text{ мг/л}, \quad (5.36)$$

що відповідає об'ємній концентрації

$$V_{\%}(Cl) = \frac{22,4 \cdot C_m(Cl)}{10 \cdot M(Cl)} = \frac{22,4 \cdot 5}{10 \cdot 2 \cdot 35,4527} \approx 0,16\%, \quad (5.37)$$

де 22,4 – число Авогадро; M – молекулярна маса речовини.

Аналогічна ситуація буде мати місце і під час роботи в зоні, зараженій аміаком $C_m(NH_3) \leq 10^5 \text{ мг/м}^3 = 100 \text{ мг/л}$; $V_{\%}(NH_3) \leq 13,15\%$.

В 5.5.1 показано, що в апаратах на стисненому повітрі у випадку їх обладнання шолом-масками або масками з легенево-ними автоматами 3-го типу (які створюють збитковий тиск у підмасковому просторі) різко підвищуються захисні властивості:

$$K_3(IA) \geq \begin{cases} 3,33 \cdot 10^5, & \text{якщо АСП оснащений шолом – маскою;} \\ 4,77 \cdot 10^5, & \text{якщо АСП оснащений ЛА 3-го типу.} \end{cases} \quad (5.38)$$

Враховуючи (5.32), в цьому випадку необхідно орієнтуватись на захисні властивості ізолюючого костюма

$$C_m(Cl) \leq K_3(İK) \cdot C_{mГДК}(Cl) = 7 \cdot 10^4 \text{ мг/м}^3 = 70 \text{ мг/л}; \quad (5.39)$$

$$V_{\%}(Cl) = \frac{22,4 \cdot C_m(Cl)}{10 \cdot M(Cl)} = \frac{22,4 \cdot 70}{10 \cdot 2 \cdot 35,4527} \approx 2.24\%. \quad (5.40)$$

Видно, що і в цій ситуації не можна працювати в ізолюючих костюмах, які передбачають розташування ізолюючого апарата ззовні.

В той же час аналогічні розрахунки для аміаку показують

$$V_{\%}(NH_3) = \frac{22,4 \cdot K_3(К) \cdot C_{mГДК}(NH_3)}{10 \cdot M(NH_3)} > 100\%, \quad (5.41)$$

що свідчить про можливість проведення аварійно-рятувальних робіт в осередку викиду аміаку особовим складом в ізолюючих костюмах, поверх яких знаходяться апарати на стисненому повітрі, обладнані шолом-масками або панорамними масками з легеневиими автоматами 3-го типу.

Для розгляду особливостей забезпечення безпеки газодимозахисників було обрано ситуацію, яка передбачає концентрацію хлору $C_{m\max}(Cl) = 3600$ мг/л, яку повинні забезпечити КЗІЗ першого типу. В цьому випадку комплекс засобів індивідуального захисту повинен забезпечити

$$K_3 \geq \frac{C_{m\max}(Cl)}{C_{ГДК}(Cl)} = 3,6 \cdot 10^6. \quad (5.42)$$

Оскільки, відповідно до (5.40), комбінацію ізолюючого костюма та ізолюючого апарата, коли останній знаходиться ззовні, використовувати не можна, використовуючи (5.34), визначимо вимоги до коефіцієнта захисту ізолюючого апарата, коли він знаходиться всередині костюма

$$K_3(\text{ПА}) \geq \frac{K_3}{K_3(\text{ИК})} = \frac{3,6 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^4} \approx 0,52 \cdot 10^2 \ll 5 \cdot 10^4. \quad (5.43)$$

З (5.43) видно, що перший рівень захисту забезпечує комбінація сертифікованого ізолюючого костюма та будь-якого ізолюючого апарата, який знаходиться всередині захисного одягу.

5.5.4. Визначення послідовності вибору захисного одягу, ізолюючого апарата та лицевої частини до нього для роботи в умовах, які суттєво відрізняються від умов пожежі

В основі розв'язання поставленої задачі – забезпечення такого загального коефіцієнта захисту K_3 комплексу засобів індивідуального захисту (ізолюючого костюма, ізолюючого апарата та лицевої частини), який буде перевищувати коефіцієнт $K_{\text{ТН}}$ токсичної небезпеки середовища

$$K_3 \geq K_{\text{ТН}} = \begin{cases} \sum_i \frac{C_{m_i}}{C_{\text{ГДК}_i}} - \text{якщо гази мають однонаправлену дію}; \\ \max_i \left\{ \frac{C_{m_i}}{C_{\text{ГДК}_i}} \right\} - \text{якщо гази не мають однонаправленої дії}; \end{cases} \quad (5.44)$$

де C_{m_i} – концентрація i -го шкідливого газу в навколишньому середовищі, мг/м³ (%);

$C_{\text{ГДК}_i}$ – гранично допустима концентрація i -го шкідливого газу в навколишньому середовищі, мг/м³ (%).

При цьому коефіцієнти захисту ізолюючого костюма n -ого варіанта виконання $K_{\text{ИК}}(n)$ та лицевої частини m -ої модифікації $K_{32}(m)$, як правило, задаються в експлуатаційно-технічній або нормативній документації.

Коефіцієнт захисту ізолюючого апарата k -го типу $K_{31}(k)$ або задається в експлуатаційно-технічній літературі, або може бути розрахований (див. (5.23) та (5.25), наприклад) за його тактико-технічними характеристиками та показниками, які наведені в нормативній документації.

Оскільки розглядаються умови, які є гіршими, ніж найгірші умови пожежі, спочатку доцільно оцінити можливість роботи в тому чи іншому ізолюючому костюмі, який дозволяє працювати рятувальникам в умовах впливу небезпечних хімічних речовин, з якими рятувальники мають працювати. Так, якщо

$$K_{\text{ИК}}(n) < K_{\text{ТН}}, \quad (5.45)$$

то n -ий варіант виконання ізолюючого костюма можна використовувати тільки в тому випадку, коли його конструкція передбачає знаходження ізолюючого апарата у зборі з лицевою частиною всередині захисного одягу. В іншому випадку ($K_{\text{ИК}}(n) \geq K_{\text{ТН}}$) переходять до аналізу того, який ізолюючий апарат можна застосовувати поверх костюма.

При цьому виходять з того, що вимоги до захисної ефективності лицевих частин K_{32} чітко нормуються залежно від модифікації. Тобто, враховуючи (5.13), коефіцієнт захисту ізолюючого апарата у разі його обладнання m -ою модифікацією лицевої частини повинен задовольняти

$$K_{31}^m \geq \frac{K_{\text{ТН}} \cdot K_{32}(m)}{K_{32}(m) - K_{\text{ТН}}}, \quad (5.46)$$

де $K_{32}(m)$ – коефіцієнт захисту m -ої модифікації лицевої частини.

При цьому не розглядаються лицеві частини, які не задовольняють вимозі

$$K_{32}(m) - K_{\text{ТН}} > 0, \quad (5.47)$$

оскільки їх захист менше, ніж вимоги до загальної захисної ефективності.

Тобто критерієм вибору k -го ізолюючого апарата та m -ої лицевої частини до нього буде забезпечення того, щоб коефіцієнт захисту обраного типу ізолюючого апарата був більше допустимого коефіцієнта захисту цього апарату у разі його обладнання обраною модифікацією лицевої частини

$$K_{31}(k) \geq K_{31}^m. \quad (5.48)$$

Його дотримання забезпечить безпечну роботу газодимозахисників, у тому числі і за такого коефіцієнта токсичної небезпеки середовища $K_{\text{ТН}}$, який не буде відповідати найгіршим умовам пожежі.

Таким чином, обґрунтовано наступну послідовність вибору комплексу засобів індивідуального захисту:

- визначення коефіцієнта (5.44) токсичної небезпеки середовища, в якому передбачається застосування ізолюючого апарата;
- оцінка захисної ефективності ізолюючих костюмів, які можуть бути застосовані. У тому разі, коли виконується (5.45), обрати такі модифікації ізолюючих костюмів, що передбачають знаходження ізолюючого апарата у зборі з лицевою частиною всередині його конструкції, в іншому – перейти до аналізу того, які ізолюючі апарати можна застосовувати поверх костюма;
- оцінка захисної ефективності ізолюючих апаратів, які можуть бути застосовані;
- розрахунок вимог (5.46) до ізолюючих апаратів у разі їх обладнання наявними модифікаціями лицевих частин;

- визначення ряду комбінацій ізолюючого апарата та лицевої частини, які задовольняють (5.48);
- вибір конкретного комплексу засобів індивідуального захисту (ізолюючого костюма, ізолюючого апарата та лицевої частини до нього), враховуючи додаткові показники (вартісні, експлуатаційні, ергономічні тощо).

5.5.5. Приклади обґрунтування вимог до вибору комплексу засобів індивідуального захисту з позицій його захисної ефективності

Задача 1. Обґрунтувати вимоги до комплексу засобів індивідуального захисту, якщо передбачається робота під час ліквідації надзвичайної ситуації з викидом аміаку ($C_m(NH_3) \approx 700 \text{ мг/л}$), яка супроводжується гасінням пожежі.

Припущення:

- розглядаємо найгірші умови пожежі, за яких масова концентрація окису вуглецю дорівнює $C_m(10\%CO) = 116,7 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3$;
- згідно із фізико-хімічними властивостями окису вуглецю та аміаку вони мають однонаправлену дію, а також гранично допустимі концентрації, що відповідно дорівнюють $C_{\text{мГДК}}(CO) = 30 \text{ мг/м}^3$ та $C_{\text{мГДК}}(NH_3) = 20 \text{ мг/м}^3$

Послідовність розв'язання:

1. Визначити коефіцієнт токсичної небезпеки середовища, враховуючи те, що $1 \text{ мг/л} = 1000 \text{ мг/м}^3$:

$$K_{\text{ТН}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{v_i}}{C_{\text{ГДК}_{v_i}}} = \frac{116.7 \cdot 10^3}{30} + \frac{700000}{20} = 38890.$$

2. Оцінити захисну ефективність ізолюючих костюмів, які можуть бути застосовані

Оскільки

$$K_{\text{ТН}} = 38890 < K_3(\text{ІК}) = 70000,$$

є можливим застосування комплексу засобів індивідуального захисту, в якому ізолюючий апарат з лицевою частиною знаходяться поверх ізолюючого костюма.

3. Визначити допустимий коефіцієнт підсосу ізолюючого апарата у зборі з лицевою частиною

$$K_{\text{П}} = \frac{1}{K_3} \leq \frac{1}{K_{\text{ТН}}} = 2,57 \cdot 10^{-5}$$

4. Обрати типи лицевих частин, які задовольняють вимогам до захисної ефективності:

Оскільки панорамна маска має коефіцієнт захисту, який є суттєво меншим за коефіцієнт токсичної небезпеки середовища (а відповідно, і вимог до загального коефіцієнта захисту) у якості лицевої частини можуть застосовуватись шолом-маска або маска з підпором повітря в підмасковому просторі (разом з легеневим автоматом третього типу).

У разі вибору шолом-маски:

$$K_{32}(\text{Ш-М}) \geq 10^6; \quad K_{\text{П}2}(\text{Ш-М}) \leq 10^{-6}.$$

У разі вибору маски з підпором повітря в підмасковому просторі:

$$K_{32}(\text{М з підпором}) \geq 10^7; K_{\Pi 2}(\text{М з підпором}) \leq 10^{-7}$$

5. Оцінити вимоги до захисної ефективності ізолюючого апарата:

а) у разі обладнання шолом-маскою:

$$K_{\Pi 1}(\text{Ш-М}) = K_{\Pi} - K_{\Pi 2}(\text{Ш-М}) \leq 2,57 \cdot 10^{-5} - 10^{-6} = 2,47 \cdot 10^{-5};$$

і, відповідно,

$$K_{31}(\text{Ш-М}) = \frac{1}{K_{\Pi 1}} \geq 40463;$$

б) у разі обладнання маскою з підпором повітря:

$$K_{\Pi 1}(\text{М з підпором}) = K_{\Pi} - K_{\Pi 2}(\text{М з підпором}) \leq 2,57 \cdot 10^{-5} - 10^{-7} = 2,56 \cdot 10^{-5}$$

і, відповідно,

$$K_{31}(\text{М з підпором}) = \frac{1}{K_{\Pi 1}} \geq 39041.$$

6. Вибір ізолюючого апарата

Згідно із розрахунками, наведеними в 5.5.1, РДА не задовольняє (5.23) отриманим вимогам, оскільки навіть при виконанні умов, які є більш жорсткими по відношенню до умов виробника, Настанови з ГДЗС

$$K_{31}(\text{РДА}) \geq 3 \cdot 10^4 < 3,9 \cdot 10^4.$$

В той же час, цим вимогам задовольняють (5.25) АСП, оскільки

$$K_{31}(\text{АСП}) \geq 3 \cdot 10^5 > K_{31}(\text{Ш-М}) = 4,1 \cdot 10^4 > K_{31}(\text{М з підпором}) = 3,9 \cdot 10^4.$$

Таким чином, для роботи в зазначених умовах доцільно обрати апарат на стисненому повітрі, який обладнати:

- шолом-маскою, якщо стримують економічні умови, оскільки панорамна маска з легеневим автоматом третього типу коштує на порядок більше шолом-маски;

- маскою з підпором повітря в підмасковому просторі в іншому випадку, оскільки вона має значно кращі ергономічні характеристики

Задача 2. Обґрунтувати вибір типу ізолюючого апарата та лицевої частини, якою його доцільно обладнати, якщо передбачається робота під час ліквідації надзвичайної ситуації, середовище осередку якої містить 10 відсотків окису вуглецю та 20 відсотків окисів азоту.

Припущення:

- згідно із фізико-хімічними властивостями окису вуглецю та окисів азоту вони мають однонаправлену дію, а також гранично допустимі концентрації, що відповідно дорівнюють $C_{ГДК}(\text{СО})=2,61 \cdot 10^{-3} \%$ та $C_{ГДК}(\text{NO}_2)=0,26 \cdot 10^{-3} \%$.

Послідовність розв'язання:

1. Визначити коефіцієнт токсичної небезпеки середовища:

$$K_{\text{ТН}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{v_i}}{C_{ГДК v_i}} = \frac{10}{2,61 \cdot 10^{-3}} + \frac{20}{0,26 \cdot 10^{-3}} = 80754$$

2. Оцінити захисну ефективність ізолюючих костюмів, які можуть

бути застосован.

Оскільки

$$K_{\text{тн}} = 80754 < K_3(\text{ПК}) = 70000,$$

є можливим застосування тільки таких ізолюючих костюмів, які передбачають знаходження ізолюючого апарата будь-якого типу всередині їх конструкції.

Контрольні запитання та завдання до глави 5:

1. Дайте визначення герметичності ізолюючих апаратів.
2. Які показники якості ЗІЗОД Ви знаєте?
3. Які показники відносяться до показників захисної ефективності?
4. Якими шляхами можуть проникати шкідливі гази до повітропровідної системи?
5. Кратність зниження концентрації шкідливої речовини, що міститься в повітрі робочої зони, забезпечувану даним засобом захисту – це _____
6. Відношення концентрації шкідливої речовини в підмасковому просторі ЗІЗОД (C_{om} , C_{ov}) до концентрації цієї речовини в повітрі ($C_{\text{м}}$, C_{v}) виражає _____
7. Яким чином пов'язані коефіцієнт захисту та коефіцієнт підсосу?
8. За яких умов припустиме застосування ЗІЗОД у токсичному середовищі?
9. На практиці характеристику токсичної небезпеки середовища, яка складається із суміші небезпечних газів, дають через еквівалентний вміст у ньому _____
10. Чому дорівнює нормований розмір коефіцієнта захисту?

11. Під дією чого навколишнє повітря проникає усередину системи „ЗІЗОД – органи дихання людини”?
12. Розкрийте шляхи проникнення навколишнього повітря усередину системи „ЗІЗОД – органи дихання людини”.
13. Чи дозволяється розглядати загальний коефіцієнт підсосу як суму коефіцієнтів підсосу повітропровідної системи та лицевої частини?
14. Вкажіть мету і методику перевірки герметичності.
15. Розкрийте недоліки та переваги різноманітних лицевих частин.

ГЛАВА 6. ПОВІТРОПОСТАЧАЛЬНА СИСТЕМА АПАРАТІВ НА СТИСНУТОМУ ПОВІТРІ (КИСНЕПОСТАЧАЛЬНА СИСТЕМА РЕГЕНЕРАТИВНИХ ДИХАЛЬНИХ АПАРАТІВ)

6.1. Принцип дії повітропостачальної (киснепостачальної) системи

Повітропостачальна система апаратів на стиснутому повітрі (ППС АСП) та киснепостачальна система регенеративних дихальних апаратів (КПС РДА) є досить складними та відповідальними частинами ізолюючих апаратів зі стиснутим повітрям або киснем. Вони визначають надійність роботи відповідно апарата в цілому.

Основні елементи цих систем були показані раніше (див. відповідно рисунки 3.6 та 3.10).

Крім того, залежно від конкретної моделі, системи, що розглядаються, можуть містити ряд додаткових пристроїв. Повітря (кисень) в апараті зберігається в балоні, що за допомогою приєднального елемента (як правило, накидної гайки) з'єднується з вузлами ППС (КПС). Попаданню часток окалини з балона запобігає спеціальний фільтр. Для аварійного ручного відключення трубки манометра при її пошкодженні використовується перекривний вентиль. Зменшення тиску в балоні до заданого рівня фіксується автоматичним сигналізатором з акустичним (звуковим) або яким-небудь іншим (наприклад, фізіологічним) сигналом. Для додаткової або аварійної подачі кисню в повітропровідну систему РДА безпосередньо з каналу високого тиску служить байпас, який являє собою клапан з ручним керуванням.

В каналах ППС (КПС), які приєднуються до редуційного клапана (редуктора), повітря (кисень) знаходиться під високим тиском (в сучасних апаратах, залежно від марки, 20–30 МПа), який поступово зменшується у

міру витрати його запасу з балона. Редуктор зменшує тиск газу та підтримує його в системі на постійному рівні, який є безпечним для здоров'я людини (у більшості апаратів 0,4–0,75 МПа). На випадок непередбаченого підвищення тиску в камері редуктора до складу ППС (КПС) входить запобіжний клапан. Для контролю тиску в балоні служить, як правило, манометр, який з'єднується з каналом високого тиску через металеву капілярну трубку, яку скручують у спіраль та захищають від пошкоджень гнучким шлангом із прогумованої тканини. Безпосередньо для забезпечення повітрям дихання газодимозахисника під час роботи в АСП або подачі в повітропровідну систему РДА додаткової порції кисню служить легеневий автомат.

Додатково РДА містить дросель (дюзу), який забезпечує постійну подачу кисню. До його складу можуть входити пристрій попередньої продувки та продувочний насос (в РДА з економною витратою кисню). Насос забезпечує видалення до атмосфери деякого об'єму газоповітряної суміші і приводиться до дії енергією кисню, який надходить у повітропровідну систему, а управляється постійною або легенево-автоматичною подачами кисню, чи обома спільно. З байпасу кисень подається до повітропровідної системи через свій дросель, який обмежує об'ємну швидкість подачі.

В той же час вище названі конструктивні елементи можуть бути не в кожній моделі. Так, в апаратах може бути відсутнім редуктор; легеневий автомат в цьому випадку працює безпосередньо під високим тиском. Внаслідок того, що конструкція автоматичного сигналізатора є досить складною і дещо ненадійною, його застосовують не завжди. Замість ручного перекидного вентиля останнім часом використовують автоматичний пристрій, який відключає капіляр та манометр при виникненні в них витоку газової суміші. В деяких апаратах (наприклад, в РДА, в яких манометр розташований в межах ранцю) вентиль взагалі

відсутній.

В РДА може бути (РДА фірми “Дрегерверк”, КИП-8) пристрій, який являє собою нормально зачинений клапан, що перекриває повітровід, з акустичним сигналом. Останній приводиться до дії диханням газодимозахисника при закритому стані повітроводу. Якщо людина включиться до апарата і не відкриє вентиль балона, нормальне дихання через перекритий повітровід стане неможливим, а акустичний сигнал нагадає про необхідність відкрити вентиль балона. Як тільки редукований тиск поступить до пристрою, що розглядається, клапан на повітроводі відкриється. Крім того, конструкція РДА може містити автоматичний пристрій попередньої продувки, завдяки якому при відкриванні вентиля балона у повітропровідну систему подається 5–6 л кисню.

Таким чином, принцип дії повітропостачальної системи АСВ та киснепостачальної системи РДА базується на витіканні повітря кисню з балона в камеру легеневого автомата АСП (повітропровідну систему РДА) через дроселі постійного перерізу та клапанні пари редуктора, легеневого автомата, байпаса та інших елементів, які є дроселями перемінного перетину.

6.2. Розвиток киснепостачальної системи

Одним із суттєвих недоліків респіратор Шванна була необхідність регулювати вручну подачу кисню. Поряд із вдосконаленням процесу регенерації повітря (див. розділ 7), забезпечення ефективності роботи киснепостачальної системи РДА із самого початку було вузловим питанням покращення якості та підвищення надійності всього апарата в цілому. Проблему автоматизації киснепостачання було вирішено застосуванням в конструкції РДА редукційного клапана. На рис. 6.1 показано прототип сучасного редукційного клапану, який сконструював

Рукейрол. Він використовувався для автоматичного регулювання подачі повітря як у шлангових нагнітаючих, так і в резервуарних апаратах зі стисненим повітрям.

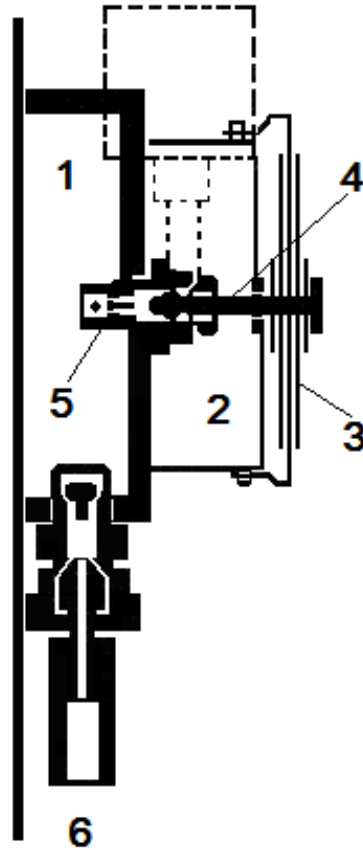


Рисунок 6.1 – Регулятор подачі повітря Рукейрола

1 – камера підвищеного тиску; 2 – камера зниженого тиску; 3 – діафрагма; 4 – шток клапана; 5 – клапан; 6 – повітропровід

Цей же прилад є прототипом і сучасного легеневого автомата. Прилад складався із двох камер. Стиснене повітря по повітропроводу 6 попадало у камеру високого тиску 1 і потім через відкритий клапан 5 у камеру 2, з якої воно і витрачалось. За надлишку повітря тиск у камері 2 піднімався та вигинав діафрагму 3, з'єднану зі штоком 4 і клапаном 5. Шток і клапан пересувалися вправо і замикали отвір, що з'єднував обидві камери. При падінні тиску в камері 2 діафрагма поверталася на місце і клапан 5 знову відкривався. За цих умов регулятор Рукейрола працював як

редуктор тиску. Коли регулятор конструювався як легеневий автомат, тобто прилад, що діє залежно від потреби легенів у повітрі, шток 4 і клапан 5 залишалися роз'єднаними. У нормальному положенні тиск повітря в камері 1 закривав клапан 5, щільно притискаючи його до сідла. При вдиху у камері 2 виникало розрідження, завдяки чому діафрагма 3 вдавлювалася, кінець штока впирався в головку клапана 5, останній відкривався та пропускав повітря з камери 1 у камеру 2 доти, поки тиск у камері 2 не доходив до атмосферного. Тоді діафрагма верталася у вихідне положення і клапан закривався. Регулятор, таким чином, діяв тільки під час вдиху.

Пристрій сучасного редукційного клапана та схема його роботи описані нижче. Призначенням його є зниження тиску газу, який подається з балонів із запасом стиснутого кисню, до постійної величини (наприклад, до 0,3 МПа) і позмінна подача певної дози кисню порядку 1,2–1,5 л/хв. В апаратах з ручною подачею кисню наповнення дихального мішка відбувалося тільки у міру зниження кисню. Між тим із суміші газів, що циркулювала в респіраторі, в основному кисень і азот, у процесі дихання поглинався один кисень. Кількість же азоту, що спочатку була в системі респіратора, постійно збільшувалася внаслідок того, що кисень у балоні завжди був трохи забруднений азотом. За тривалої роботи респіратора з ручною подачею кисню міг, нарешті, наступити момент, коли повний дихальний мішок виявився б наповненим азотом, і людині загрожувала б небезпека аноксемії. За наявності редуктора небезпека ця може бути усунута наступним чином – витрата кисню регулюється розраховуючи на максимальну потребу в ньому під час роботи. У зв'язку з тим, що напружена робота, яка відповідає такій великій витраті кисню, не може тривати безупинно, то в періоди відпочинку або легкої роботи кисень буде надходити в надлишку, викидатися із системи респіратора та захоплювати домішаний до нього азот. Таким чином, може бути попереджене небезпечне скупчення азоту в респіраторі.

Практична реалізація ідеї регенеративного респіратору з редуційним вентилям належить **гірському інженерові Майєру** (Австрія, респіратор Майєр-Пілар, 1897 р.). Наявність у системі регенеративного респіратору зі стисненим киснем потенційного джерела енергії у вигляді стисненого газу в балонах наштовхнуло конструкторів на думку використовувати це джерело енергії для здійснення циркуляції повітря в респіраторі незалежно від зусиль легенів і в допомогу їм. Енергія стиснутого кисню була використана шляхом введення в конструкцію респіратору інжектора з вузькою (діаметр 0,1 мм) насадкою для випуску кисню. Для приведення інжектора в дію тиск кисню в редукторі знижувався тільки до 0,6–0,7 МПа; під цим відносно високим тиском кисень виходив з насадки, засмоктуючи повітря з однієї половини системи респіратору (зони видихуваного повітря) і нагнітаючи очищене повітря в іншу (у зону вдихуваного повітря). Схематично принцип дії інжектора показано на рис. 6.2.

Необхідність введення інжектора в систему респіратору постала наслідком високого опору дихання в респіраторі. Останній, у свою чергу, був обумовлений наступними особливостями попередніх конструкцій респіраторів: малим діаметром дихальних шлангів і необхідністю ускладнювати конструкції регенеративних патронів за допомогою спрямування повітря по довгому та звивистому шляху для кращого очищення його від вуглекислоти (наприклад, у регенеративному патроні респіратору Шванна).

Незважаючи на те, що у той час введення інжектора було прогресивним явищем, у нього незабаром нашлись супротивники. В 1912 р. **професор Бірмінгемського університету Кедмен**, ведучи розслідування причин загибелі головного інженера однієї з кам'яновугільних шахт Південного Уельсу (Англія), який спустився у шахту в інжекторному апараті Дрегера, установив, що смерть з'явилася

наслідком нещільності регенеративного патрона. Оскільки патрон перебував у зоні розрідження (рис. 6.2), то інжектор засмоктав через нещільності патрона велику кількість отруєного повітря. Таким чином, першопричиною нещасного випадку був визнаний інжектор, що створив негативний тиск. На цій підставі комісія у складі відомого фізіолога Холдена, Бріггса й Уокера (Англія) провела детальне дослідження інжекторних апаратів і в 1918 р. визнала використання інжектора в респіраторах шкідливим.

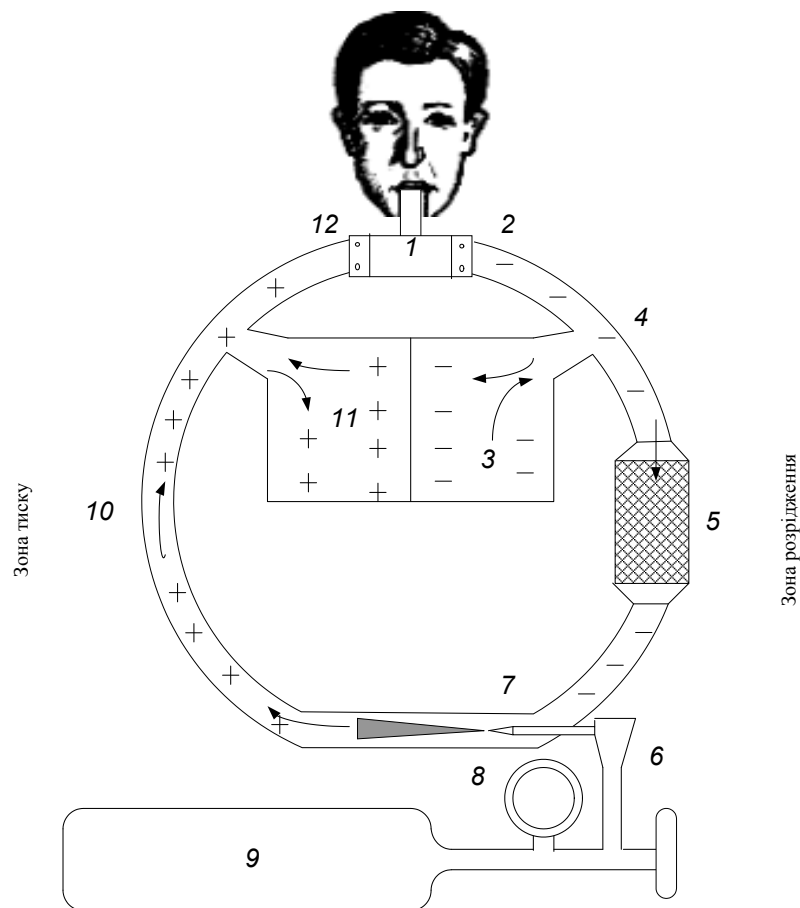


Рисунок 6.2 – Схема регенеративного респіратора з інжектором

1 – мундштук; 2 – клапан видиху; 3 – половина дихального мішка, призначеного для видихуваного повітря; 4 – шланг видиху; 5 – регенеративний патрон; 6 – редуктор; 7 – інжектор; 8 – манометр; 9 – кисневий балон; 10 – шланг вдиху; 11 – половина дихального мішка, призначеного для вдихуваного повітря; 12 – клапан вдиху.

Крім зазначеного вище недоліку, комісія вказала ще й на наступні дефекти інжекторних апаратів. Кількості повітря, що циркулює в респіраторі завдяки інжектору, недостатньо у випадках роботи великої напруженості. Внаслідок малого діаметра випускного каналу інжектор може легко засмітитися, внаслідок чого може припинитися доступ кисню в апарат. Першу небезпеку – наявність у респіраторі зони зниженого тиску – намагалися усунути шляхом зменшення довжини цієї зони; для цього інжектор розміщався не за регенеративним патроном, а поперед нього, завдяки чому в зону негативного тиску попадав тільки короткий повітропровід і половина дихального мішка. На цьому принципі побудовані апарати Дрегера – модель 1913 р. і "Вестфалія" – модель 1913 р.

Однак ці апарати не одержали поширення з наступних основних причин.

По-перше, удосконалення дихальних шлангів (збільшення їх діаметра) і регенеративних патронів (зменшення їх опору) зробили наявність інжектора зайвим.

По-друге, на зміну інжектору прийшла більш досконала система забезпечення людини, що працює в респіраторі, достатньою кількістю повітря – система легенево-автоматична.

На нечисленних гірничорятувальних станціях дореволюційної Росії застосовувалися інжекторні апарати "Вестфалія" і "Дрегера" (головним чином моделі 1904–1909 рр.).

Основним недоліком респіраторів з постійним дозуванням кисню редуктором (у тому числі й інжекторних апаратів) була непристосованість цих апаратів ні до індивідуальних особливостей дихання людей, ні до вимог, що змінюються під час роботи, до респіратора.

Як уже вказувалося вище, потреба людини в кисні, залежно від її конституції, ступеня тренуваності і напруженості виконуваної роботи,

коливається в межах від 0,3 до 3,2 л/хв. У респіраторах з постійною подачею кисню подача O_2 встановлювалася раніше на величину від 2 до 2,5 л/хв. Тим часом дослідження показали, що навіть при виконанні робіт значної напруженості середня витрата кисню не перевищує 1,3–1,5 л/хв. Зі сказаного видно, що при регулюванні редуктора на постійну подачу кисню на величину від 2 до 2,5 л/хв цієї кількості при виконанні роботи дуже високої (що наближається до граничної) напруженості може не вистачити. З іншого боку, постійна витрата в 2–2,5 л/хв, при виконанні нормальної роботи або під час відпочинку, виявляється надмірною і призводить до непотрібної витрати кисню та скорочення часу захисної дії респіратора. Звідси виникла вимога передбачити у респіраторі такий пристрій, що давав би можливість впускати в систему респіратора рівно стільки кисню, скільки людині необхідно в цей момент. Це було зроблено введенням клапана – *легеневого автомата*, названого так тому, що він діє під впливом розрідження, яке викликане легеньми при вдиху.

Перший *легеневий автомат* був запропонований в 1907 р, **Гарфорт**ом (Англія, респіратор В.Е.Г.). Потім у США, Франції та Німеччині майже одночасно (1917–1924 рр.) з'явилися *легенево-автоматичні респіратори* оригінальних конструкцій. До них відносяться респіратори **Гіббса** (США), **Пауля** (США), **Фанзи** (Франція), **Аудос** (фірми Дегеа) і **Дрегера** (Німеччина).

Принцип дії легеневого автомата полягає в тому, що повітропровід, що йде від камери редуктора, перекривається спеціальним клапаном, шток якого, безпосередньо або за допомогою важільної передачі, перебуває під дією стінок дихального мішка. Коли мішок повний повітря і стінки його роздуті, головка штока або довге плече важеля ("перо") клапана-автомата висить вільно і сам клапан закритий завдяки тиску запірної пружини. Як тільки дихальний мішок випорожнюється, стінки його стискаються, роблять натиск на шток клапана-автомата, останній переборює опір

запірної пружини, клапан відкривається й кисень надходить у мішок доти, поки стінки його знову не роздуються. Оскільки розрідження в системі респіратора утворює під час вдиху, то й кисень у респіратор додається у міру потреби, тобто, коли під час вдиху в респіраторі відчувається недостатність кисню. Відповідним підбором і натягом пружини можна відрегулювати клапан-автомат таким чином, щоб він діяв при певному розрідженні в системі респіратора. У випадку ж виникнення в системі респіратора надлишкового тиску (за надлишку повітря в респіраторі) зайве повітря випускається через спеціальний надлишковий клапан. Останній діє на зразок клапана-автомата, тобто у прямій залежності від стану стінок дихального мішка. Коли стінки дихального мішка під впливом надлишкового тиску надмірно роздуті, шток надлишкового клапана переборює опір запірної пружини, клапан відкривається та випускає повітря з респіратора назовні доти, поки в респіраторі не встановиться тиск нижче певної межі й стінки дихального мішка трохи стиснуться. Таким чином, у вказаних вище конструкціях легенево-автоматичних респіраторів дихальний мішок перебуває під час роботи в стані хиткої рівноваги. Тиск і розрідження в ньому, при застосуванні легеневого автомата та надлишкового клапана, коливається в порівняно невеликих межах (25 мм вод. стовпчика), що обмежує й величину максимального позитивного або негативного тиску в системі респіратора в цілому. Для ілюстрації системи хиткої рівноваги дихального мішка наведені дві типові схеми регулювання тиску й розрідження в респіраторах системи Фанзи (рис. 6.3) і Дрегера (рис. 6.4).

Величезними перевагами описаних вище систем, у порівнянні з респіраторами з одним тільки постійним дозуванням кисню (у тому числі з інжекторними респіраторами), були ощадлива витрата кисню і пристосовність респіратора до будь-яких вимог, що пропонуються під час роботи органами дихання. Однак для респіраторів легенево-автоматичного

типу був характерний той же недолік, що й респіраторам з ручною подачею кисню – небезпека скупчення азоту.

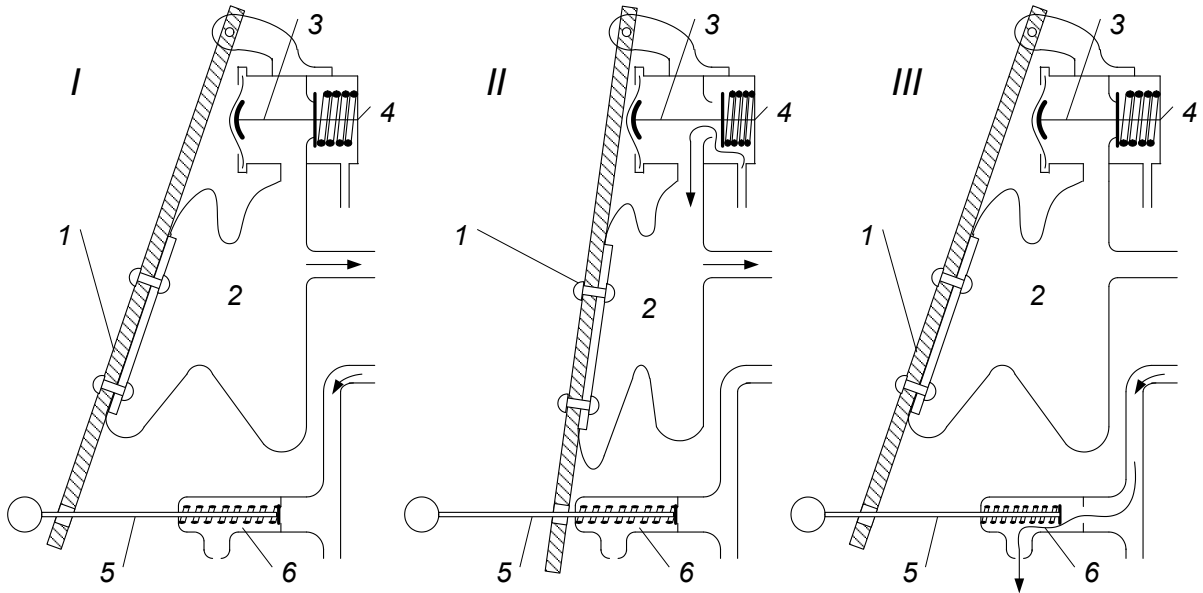


Рисунок 6.3 – Схема дихального мішка та регулюючих клапанів респіратора Фанзи

I – нейтральне положення; II – в системі респіратора негативний тиск (збитковий клапан – закритий, клапан легеневого автомата – відкритий);

III – в системі респіратора позитивний тиск (клапан легеневого автомата – закритий, збитковий клапан – відкритий).

1 – важіль, що пов'язаний зі стінкою дихального мішка; 2 – дихальний мішок; 3 – шток легеневого автомата; 4 – запірна пружина клапана; 5 – шток збиткового клапана; 6 – запірна пружина збиткового клапана

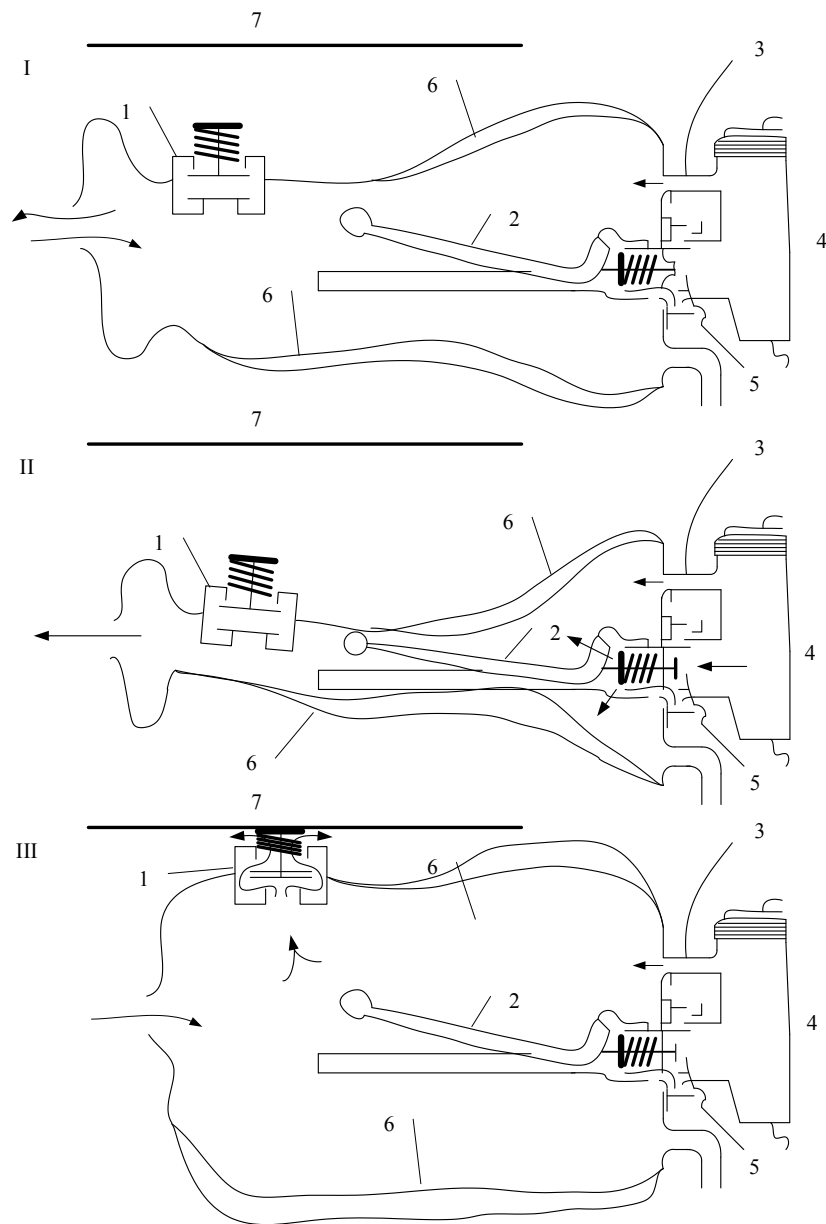


Рисунок 6.4 – Схема дихального мішка та регулюючих клапанів респіратору Дрегера

**I – нейтральне положення (легеневий автомат та збитковий клапан закриті);
 II – в системі респіратору негативний тиск (збитковий клапан – закритий, клапан легеневого автомата – відкритий);
 III – в системі респіратору позитивний тиск (клапан легеневого автомата – закритий, збитковий клапан – відкритий).
 1 – збитковий клапан; 2 – важіль легеневого автомата; 3 – дозуючий отвір редуктора для постійної подачі кисню; 4 – редуктор; 5 – клапан легеневого автомата; 6 – дихальний мішок; 7 – відбійна пластина, до якої притискається головка штока збиткового клапана**

У респірааторах Дрегера та Дегеа (Аудос) для усунення небезпеки потрапляння азоту, починаючи з 1923 р., почали передбачати комбіновану подачу кисню за допомогою легеневого автомата і дозувального пристрою – редуктора (рис. 6.5).

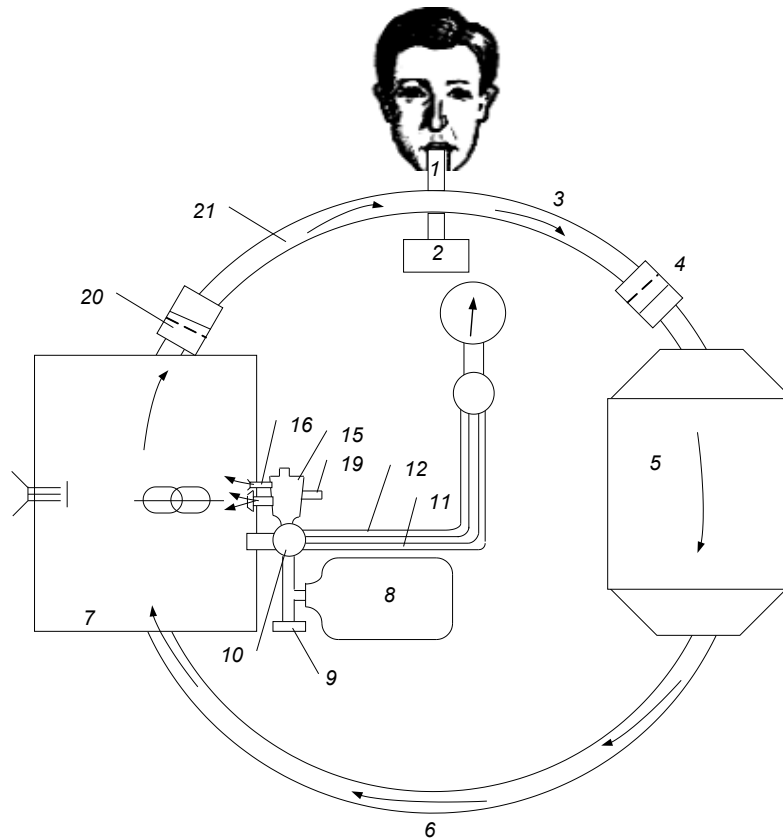


Рисунок 6.5 – Схема регенеративного респіраатора з інжектором

1 – мундштук; 2 – вологозбірник; 3 – шланг видиху; 4 – клапан видиху; 5 – регенеративний патрон; 6 – з'єднувальний шланг; 7 – дихальний мішок; 8 – кисневий балон; 9 – запірний вентиль байпаса; 10, 13 – кнопки байпаса; 11 – трубка високого тиску байпаса; 12 – броньований шланг байпаса; 14 – манометр; 15 – редуктор; 16 – дозуючий отвір; 17 – легеневий авома; 18 – збитковий клапан; 19 – запобіжний клапан; 20 – клапан вдиху; 21 – шланг вдиху

У цих моделях редуктор регулюється на постійну подачу кисню в кількості 1,5 л/хв., чого з надлишком вистачає на покриття потреби в кисні людини, що виконує не дуже напружену роботу. За збільшення інтенсивності роботи, пов'язані зі збільшенням легеневої вентиляції, при різких вдихах, що викликають стискання стінок дихального мішка, відкривається клапан легеневого автомата й у систему респіраатора

подається додаткова кількість кисню. Під час відпочинку, коли потреба в кисні може знизитися до 0,3–0,5 л/хв., надлишковий кисень викидається в зовнішню атмосферу через надлишковий клапан, захоплюючи із собою накопичений у респіраторі азот. Те ж саме відбувається й у моменти переходу від важкої роботи до легкої, коли в результаті посиленої роботи легеневого автомата у респіраторі утворює надлишок повітря. У звичайних умовах роботи гірничорятувальних частин такої пристрій респіатора в достатній мірі захищає бійців від небезпеки скупчення азоту в респіраторі. Ця небезпека могла б виникати тільки в тому випадку, якби бійці тривалий час і без перерв виконували роботу постійної напруженості, що вимагала б постійної витрати кисню в кількості, не менше 1,5 л/хв. За таких умов у респіраторі не могло б утворюватися надлишку повітря, надлишковий клапан повинен був би не діяти і у респіраторі могла б накопичитися значна кількість азоту. Хоча у практичних умовах ведення гірничорятувальних робіт випадки тривалої, рівномірної, безперервної та напруженої роботи можуть бути лише як виключення, але все-таки на небезпеку виникнення таких випадків слід зважати.

У сучасних респіляторах, крім легеневого автомата й постійного дозування, передбачається ще третій спосіб подачі кисню – за допомогою так званого байпаса або аварійного клапана. Цей клапан розташований на киснепроводі, що з'єднує безпосередньо кисневий балон з дихальним мішком або повітропроводом респіатора і відкривається вручну натиском кнопки. Завдяки наявності цього клапана можна продовжувати дихати в респіраторі навіть у випадку пошкодження легеневого автомата або всього редуційного клапана. У тих випадках, коли після тривалої, безперервної роботи в респіраторі передбачається небезпека скупчення в ньому азоту, дією цього ж аварійного клапана можна прополіскувати систему респіатора короткочасним натиском кнопки клапана. Навіть за найбільш несприятливих умовах роботи респіатора досить прополіскувати систему

повітропроводів і мішка не частіше одного разу в півгодини. Звичайно ж, щоб уникнути зайвої витрати кисню, аварійним клапаном користуються лише при аварії з редуктором або легенеvim автоматом, і взагалі у випадках, коли відчувається недостача повітря в респіраторі.

Система комбінованої подачі кисню – легенеvim автоматом, дозувальним пристроєм – редуктором і аварійним клапаном – байпасом – для регенеративних респіраторів зі стисненим киснем у даний момент може вважатися технічно найбільш вдосконалою. Цю систему взято за основу і при конструюванні вітчизняних регенеративних респіраторів.

Схема сучасного респіратора, оснащеного вищеописаним киснево-розподільним пристроєм, показана на рис. 6.5.

6.3. Особливості вибору, розробки та експлуатації газових редукторів

Автономні ізолюючі апарати, які використовують стиснену газоповітряну суміш, мають три ступені її тиску:

- високий, що змінюється від 20–30 МПа до рівня нормального редукування (близько 1 МПа у більшості апаратів, хоча можуть бути й інші значення, наприклад, в КИП-8 такий тиск становить 3 МПа);

- редукований (як правило, близько 0,4 МПа, хоча в АИР 317, наприклад, він становить 0,7–0,05 МПа);

- тиск у підмасковому просторі АСП або у повітропровідній системі РДА, який дорівнює атмосферному (0,1 МПа) або є близьким до нього.

З наведеного раніше видно, що одним з найважливіших вузлів автономних ізолюючих апаратів зі стиснутою газоповітряною сумішшю є *редуктор*. За принципом дії редуктор є регулятором (стабілізатором) тиску газу з від'ємним зворотним зв'язком. В апаратах на стиснутому повітрі та регенеративних дихальних апаратах застосовуються редуктори *прямої*

(рис. 6.6а) та зворотної (рис. 6.6б) дії.

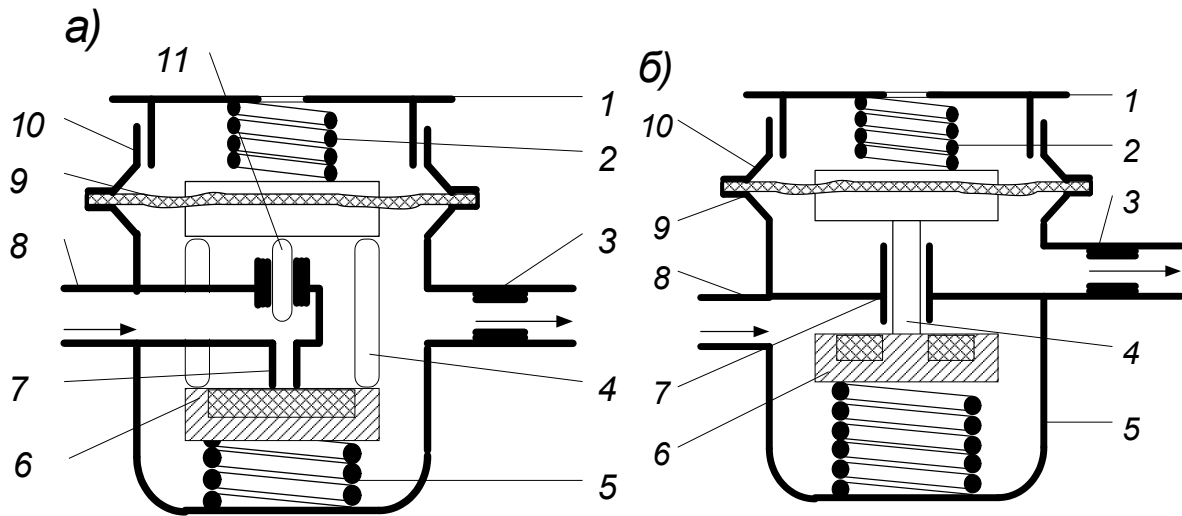


Рисунок 6.6 – Газовий редуктор:

а) прямої дії; б) зворотної дії.

Редуктор прямої дії (рис. 6.6) складається з регулювальної гайки 1, регулювальної пружини 2, відповідного штуцера 3 з дроселем, штовхачів (шпильок) 4, пружини клапана 5, клапанної пари (клапана 6 та сідла 7), що забезпечує дроселювання газу, відповідного штуцера 8, мембрани 9 та корпусу 10. Дросель постійного перерізу, що знаходиться у штуцері 3, може бути й поза редуктором у споживача редукovanого тиску кисню.

Корпус, клапан, штовхачі редуктора виготовляються з латуні, мембрана 9 – зі спеціальної прогумованої тканини, подушка клапана – з фторопласту або іншої пластмаси.

Тиск газу в редукторі підтримується на трьох рівнях:

- на вході й до клапанної пари 6-7– високий тиск p_1 ;
- у камері редуктора під мембраною й до дроселя у штуцері 3 – редукований p_2 ;
- у надмембранному просторі – p_{atm} (атмосферний тиск).

Під час роботи редуктора високий тиск газу розповсюджується до

кільцевого зазору між сідлом 7 та подушкою клапана 6, через який витікає у камеру редуктора.

Сутність регулювання тиску полягає у тому, що розмір зазору між сідлом та подушкою клапана і пов'язана з ним об'ємна швидкість витікання газу автоматично встановлюється на такому рівні, щоб у камері редуктора підтримувався постійний розрахунковий тиск.

Кільцевий зазор забезпечується взаємодією сил, одні з яких прагнуть збільшити його (відкрити клапан), а інші – зменшити (закрити клапан). Зусилля запірної пружини клапана 5 менше, ніж зусилля регулювальної пружини 2. Внаслідок цього загальною силою F_1 , під дією якої відкривається клапан 6, вважалась загальна дія обох пружин 2 та 5 і деяке зусилля жорсткості мембрани 9. Закривається клапан під дією сили F_2 , яка з'являється у результаті тиску газу в камері редуктора на поверхню мембрани 9. Крім того, у редукторі прямої дії відкрити клапан намагається й сила F_3 , що виникає внаслідок високого тиску газу на поверхню клапана, площа якої дорівнює площі поперечного перерізу сідла.

Сила F_2 , що виконує роль зворотного зв'язку, залежить від зазору у клапанній парі, тобто від висоти підйому клапана h . Якщо при певному режимі роботи редуктора з якої-небудь причини виникне перепідйом клапана над сідлом, то у цьому випадку збільшується витрата газу через клапанну пару, а внаслідок останнього – тиск у камері редуктора p_2 та сила F_2 , під дією якої рухома система займе вихідне положення. За зменшення висоти підйому клапана над сідлом відповідне зменшення сили F_2 також поверне систему у вихідне положення. Таким чином, рухома система редуктора автоматично та стійко встановлюється в таке положення, що забезпечує стабільний робочий тиск газу в камері редуктора.

Редуктор зворотної дії складається з таких же елементів і діє так само, як і редуктор прямої дії. Принципова різниця полягає у тому, що клапанна пара 6-7 знаходиться у камері високого тиску p_1 , а штовкач 4

клапана проходить у середину сідла. У цьому редукторі високий тиск газу p_1 прагне закрити клапан під дією сили F_3 .

Рівняння рівноваги рухомої системи редукторів прямої та зворотної дії має наступний вигляд:

$$F_1 - F_2 \pm F_3 = 0. \quad (6.1)$$

Знак “плюс” відноситься до редуктора прямої, а знак “мінус” – до редуктора зворотної дії.

Силу F_1 (Н) можна визначити через її початкове значення F_0 при закритому клапані:

$$F_1 = F_0 - r \cdot h, \quad (6.2)$$

де r – сумарна жорсткість усіх пружних елементів рухомої системи редуктора, Н/м.

Сила F_2 (Н) дорівнює перетину різниці тисків, що діють на ефективну площу мембрани S_m (м²):

$$F_2 = (p_2 - p_a) \cdot S_m, \quad (6.3)$$

$$S_m = 0.26 \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2), \quad (6.4)$$

де D та d – відповідно діаметри вільної (незащемленої) частини мембрани та жорсткого центру, м.

Сила F_3 (Н):

$$F_3 = (p_1 - p_2) \cdot S_c, \quad (6.5)$$

де S_c – площа сідла клапана, m^2 .

Підставляючи в рівняння (6.1) вирази (6.2), (6.3), (6.5) та нехтуючи членом $p_2 S_c$, внаслідок його малої величини, отримуємо рівняння рівноваги рухомої системи у розгорнутому вигляді:

$$F_0 - rh - (p_2 - p_a)S_M \pm p_1 S_c = 0. \quad (6.6)$$

Максимальна витрата газу у редукторі з вільним перетином сідла забезпечується при висоті підйому клапана $h_{\max} = 0.25 \cdot d_c$, а у редукторі з штовхачем – при

$$h_{\max} = \frac{(d_c^2 - d_T^2)}{4d_c}, \quad (6.7)$$

де d_T – діаметр штовхача.

При $h=0$ і абсолютно гладких поверхнях сідла та подушки клапана витрата газу повинна дорівнювати нулю. В реальному редукторі при $h=0$ газ проходить крізь шорсткі поверхні у клапанній парі. Якщо цей витік більше допустимої витрати газу, то для забезпечення останньої редуктор повинен працювати у режимі силової взаємодії у клапанній парі.

При цьому клапан повинен притискатися до сідла додатковою силою, що призведе до зменшення поверхні порожнин у зоні контакту, крізь які має місце витікання газу, головним чином, за рахунок пружної деформації матеріалу пружини.

Додаткове зусилля, що закриває клапан і виникає за рахунок деякого збільшення тиску в камері редуктора, визначає реакцію сідла R_c , розмір якої залежить від глибини пружного втискування (вдавлювання) сідла в подушку клапана h_I (висота підйому клапана зі знаком “мінус”).

За значення втискувальної сили та реакції сідла $R_c = R_c(h_I)$, яку

звичайно знаходять експериментальним шляхом, клапанна пара герметизується. Це має місце внаслідок припинення відбору газу після редуктора та супроводжується деяким подальшим збільшенням тиску p_2 .

Такий режим роботи редуктора має місце в апаратах на стиснутому повітрі, а також в РДА без постійної подачі кисню, в яких легеневий автомат заповнюється від редуктора, коли клапан цього автомата закритий.

У режимі силової взаємодії в контактній парі рівняння рівноваги рухомої системи редуктора має вигляд:

$$F_0 + rh_1 + R_c(h_1) - (p_2 - p_a) \cdot S_M \pm p_1 S_c = 0. \quad (6.8)$$

Звідки редукований тиск:

$$p_2 = \frac{(F_0 + r \cdot h_1 + R_c + p_a \cdot S_M \pm p_1 \cdot S_c)}{S_m}. \quad (6.9)$$

Основним показником якості роботи редуктора як регулятора тиску є усталеність редукованого тиску p_2 при зміні двох параметрів: тиску на вході p_1 та масової витрати газу m . Функціональна залежність $p_2 = p_2(p_1; m)$ має складний вигляд і називається *статичною характеристикою редуктора*.

Залежність змінення редукованого тиску p_2 від p_1 можна визначити, якщо прийняти $m=0$, тобто для безвитратного режиму. Для цього рівняння (4.9) спочатку записується для двох значень первинного тиску: p_{1max} і p_{1min} . Після цього віднімають з першого друге.

Враховуючи, що перші чотири члени в дужках мають однакові значення в обох випадках, вираз для змінення редукованого тиску має вигляд:

$$\Delta p_2 = \pm \frac{S_c \cdot (p_{1\max} - p_{1\min})}{S_m}. \quad (6.10)$$

Тобто змінення пропорційним відношенню площини сідла клапана до ефективної площини мембрани. Знак \pm вказує на те, що в редукторі прямої дії за мірою витрати газу з балона редукований тиск зменшується, а в редукторі зворотної дії – підвищується. Така ж залежність зберігається і для режиму з витратою газу, але в цьому випадку на неї впливає висота підйому клапана та змінення множини $r \cdot h$.

В існуючих редукторах прямої дії площа сідла клапана становить близько 0,05% ефективної площини мембрани, а в редукторах зворотної дії – близько 0,1%. Завдяки цьому забезпечується висока стійкість вторинного тиску.

Аналогічним чином визначається залежність тиску p_2 від змінення висоти підйому клапана h , тобто від витрати m в межах роботи редуктора без силової взаємодії у клапанній парі, при $p_1 = \text{Const}$. З виразу (6.6) випливає

$$p_2 = \frac{(F_0 - rh + p_{\text{атм}} S_M \pm p_1 S_C)}{S_M}. \quad (6.11)$$

Якщо записати це рівняння для h_{\min} та h_{\max} та відняти з першого виразу другий, то отримаємо:

$$\Delta p_2 = \frac{r \cdot (h_{\max} - h_{\min})}{S_m}. \quad (6.12)$$

Тобто в редукторах обох типів зі збільшенням витрати газу редукований тиск зменшується пропорційно жорсткості пружних елементів й обернено пропорційно ефективній площині мембрани.

В сучасних автономних ізолюючих апаратах зі стиснутою газоповітряною сумішшю застосовують різноманітні типи редуційних клапанів.

Шпильковий редуктор прямої дії (див. рис. 6.1а) у свій час використовувався в апаратах РКРЗ, РКК1, РКК2, КИП-5. Редуктор такого ж типу, але з розвантаженим клапаном (див. рис. 6.1а з деталлю 11) застосовується в РДА ВГ174 та Travox-120 фірми “Дрегерверк”.

Важільний редуктор зворотної дії (див. рис. 6.1б) з металевим клапаном, який має форму конуса, та сідлом з фторопласту використано в РДА Р12, Р30, Р35, а також в апараті на стиснутому повітрі АСВ2М. Поршневий редуктор зворотної дії застосовується в конструкціях резервуарних апаратів АИР 317 (217) та апаратах на стиснутому повітрі фірми “Дрегерверк”.

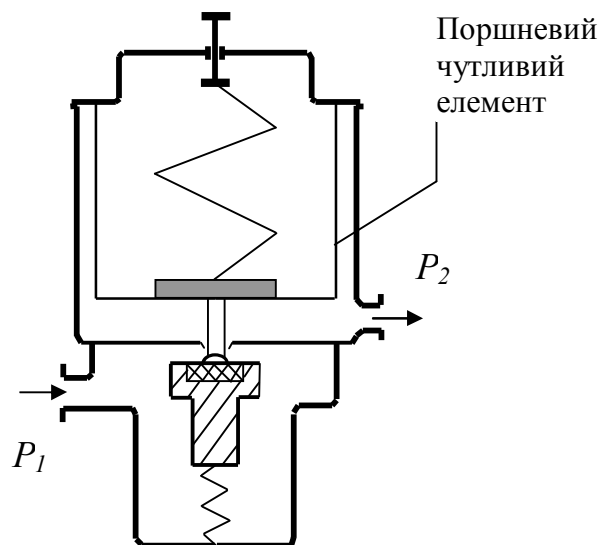


Рисунок 6.7 – Поршневий редуктор

Це викликано тим, що поршневий чутливий елемент (рис. 6.7) найбільш ефективний при використанні в газових редукторах, коли вихідний тиск має досить великі значення. Внаслідок цього, до речі, тиск P_2 у камері редуктора АИР-317 (який дорівнює 0,7-0,5 МПа) значно більший, ніж у камері мембранного редуктора АСВ-2М ($P_2 = 0,45-0,5$ МПа).

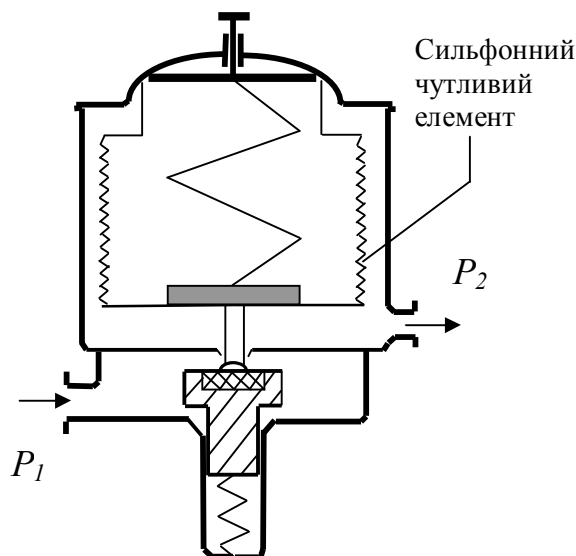


Рисунок 6.8 – Сильфонный редуктор

У протигазі “OXI – SR45” фірми “Дрегерверк” використано оригінальний редуктор зворотної дії з розвантаженим клапаном. Замість мембрани як чутливий елемент в ньому застосовується малогабаритний металевий сильфон.

Сильфонний чутливий елемент (див. рис. 6.8) відрізняється від мембранного тим, що має лінійну залежність деформації від навантаження, має більший хід, а його ефективна площа не залежить від тиску. Крім того, за допомогою сильфонних чутливих елементів найбільш простим способом можна забезпечити підтримання регулятором абсолютного тиску на виході шляхом створення герметичної вакуумної сильфонної коробки. Внаслідок цього, в “OXI – SR45”, хоча його статична характеристика є дещо гіршою, ніж у згаданих вище, редуктор вписується в циліндр з діаметром 19 мм і є самою малогабаритною сучасною конструкцією газового редуктора, має такі тактико-технічні характеристики, що відповідають вимогам до автономних ізолюючих ЗІЗОД на стиснутій газоповітряній суміші.

6.4. Легеневі автомати дихальних апаратів

Легеневий автомат – це нормально закритий за допомогою пружини клапан, до якого підведено канал для подачі газу з редукованим або високим тиском. При відкриванні клапана кисень надходить у повітропровідну систему РДА (повітря – в підмасковий простір АСП). Відкриванням клапана керує дихальний мішок (камера легеневого автомата АСП). Якщо в кінці вдиху під час спорожнення мішка (камери) в ньому створюється задане розрідження (звичайно 200–300 Па), клапан легеневого автомата відкривається. Це приводить до наповнення мішка киснем (камери повітрям) та, відповідно, зменшення розрідження.

Умовою спрацювання легеневого автомата є досягнення заданого рівня дихального зусилля в камері легеневого автомата. При цьому необхідно звернути увагу на те, що дихальне зусилля може виникнути не тільки тоді, коли в камері легеневого автомата має місце нульовий, але й тоді, коли тиск є негативним (активний видих) або позитивним (легеневий автомат АСП зі збитковим тиском в підмасковому просторі). Тобто дихальне зусилля характеризується створюваним перепадом тиску, а не тільки розрідженням.

Внаслідок цього при перевірці сучасних легневих автоматів АСП, які забезпечують збитковий тиск у підмасковому просторі, складно використовувати реометр-манометр у тому вигляді, як це робиться під час перевірки звичайних легневих автоматів. Через це під час перевірки легневих автоматів, які забезпечують збитковий тиск у підмасковому просторі, застосовують спеціальне перевірочне обладнання, наприклад, АЕРОТЕСТ.

Відомі три типи легневих автоматів:

- важільні;
- мембранні;

- з пневмопідсилювачами.

В автоматах першого типу клапан відкривається в результаті розрідження, яке безпосередньо діє на стінку дихального мішка (камери легеневого автомата). Останню виконано у вигляді жорсткої пластини та зв'язано з клапаном важеля. В наш час такі автомати не застосовуються.

Розрідження, що виникає в мішку автомата другого типу, впливає на мембрану з еластичного тонкого матеріалу (гуми або тканини з гумою), яка за допомогою важеля з великим передаточним відношенням відкриває клапан. Мембранний легеневий автомат являє собою окремий вузол, який механічно не пов'язаний з дихальним мішком. Він широко застосовується в повітряних резервуарних апаратах наземного типу та в аквалангах. В РДА мембранні легеневі автомати можуть бути об'єднані в один блок з редуктором (КИП-8) або ж виконувати й додаткові функції. Так, наприклад, в BG174 та “Травокс-120” фірми “Дрегерверк” мембрана легеневого автомата керує також роботою збиткового клапана.

Мембранні легеневі автомати більш вдосконалені, ніж важільні. Характеристика їх вважається задовільною, якщо вони відкриваються при розрідженні 200 Па, а для отримання потоку кисню (повітря) з витратою 80–100 л/хв. потрібне розрідження не більше 500 Па. Але, внаслідок цього, робочий діаметр мембрани легеневого автомата повинен бути не менше 70–80 мм.

Зменшення діаметра мембрани, зниження габаритів і маси досягаються в легневих автоматах третього типу – з пневмопідсилювачами. Найбільш розповсюдженим в РДА є автомат із пневмопідсилювачем типу сопло-заслонка, який вимагає хоча й невеликого, але постійного розходу газу для керування відкриванням основного клапана (рис. 6.9). Робота такої конструкції забезпечується за постійної подачі кисню (1,2–1,5 л/хв.).

Легеневий автомат працює в наступних режимах. В період, коли в

дихальному мішку розрідження відсутнє, кисень через штуцер 2, дросель 4, відкрите сопло 7 та штуцер 8 вільно надходить у дихальний мішок. Оскільки площа прохідного перерізу сопла в 5–10 разів більше, ніж дроселя 4, тиск у камері над мембраною 3 дорівнює атмосферному. Клапан 10 зачинено. Коли в дихальному мішку виникає розрідження, воно передається через штуцер 8 до камери під мембраною 6. Під дією розрідження мембрана долає зусилля нижньої пружини 5 і закриває сопло 7. Вихід газу із камери над мембраною 3 припиняється. Тиск у камері швидко збільшується, впливає на мембрану 3, яка долає зусилля пружини 11 і відкриває клапан 10. Внаслідок цього кисень через штуцер 9 надходить у дихальний мішок. Як тільки розрідження в мішку буде нижче рівня, на який розраховано роботу легеневого автомата, усі його елементи повертаються до вихідного стану.

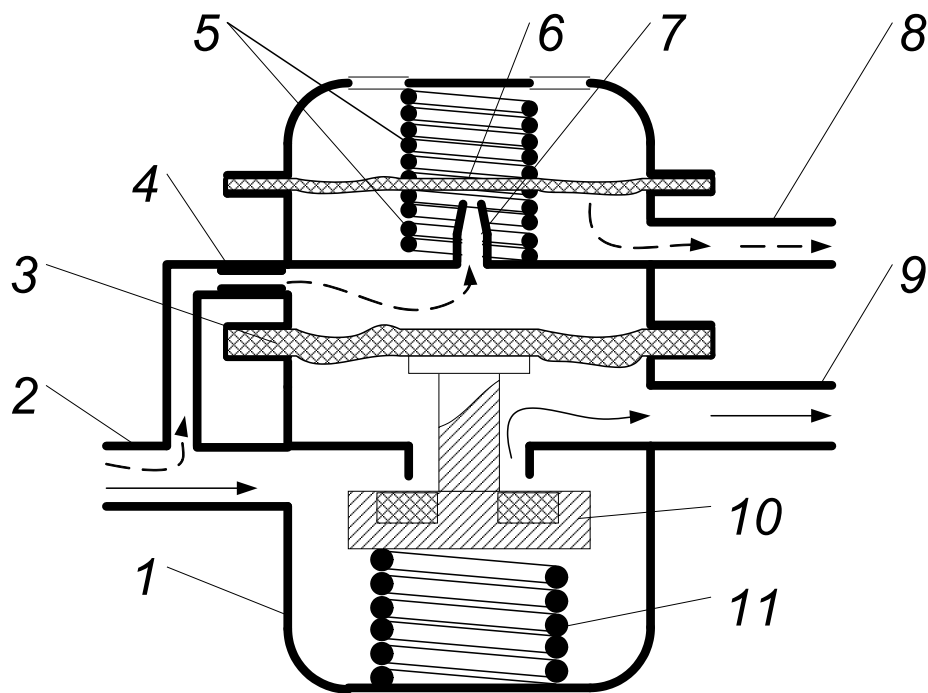


Рисунок 6.9 – Легеневий автомат із пневмопідсилювачем

Склад автомата: корпус 1, підвідний штуцер 2, основна мембрана 3, дросель 4, пружина 5, керуюча мембрана 6, сопло 7, відвідні штуцери 8 та

9, що є з'єднаними з дихальним мішком, основний клапан 10 та його пружина 11.

Для припинення витікання через сопло 7 кисню до заслінки потрібно докласти незначне зусилля, оскільки площа поперечного перерізу сопла є незначною. Внаслідок цього керуюча мембрана, може мати невелику ефективну площину (робочий діаметр менше 35 мм), а весь ЛА при цьому являє собою малогабаритний компактний вузол.

Такий автомат вперше було встановлено в Р12 і далі використано в Р30, Р34 та Р35.

6.5. Приклад інженерного розрахунку отвору для витікання кисню

Розрахунок більшості елементів повітропостачальної (киснепостачальної) системи виконується здебільшого за формулами, які наведено вище в 6.2, оскільки вони підходять для розрахунку та аналізу роботи як газових редукторів, так і легеневих автоматів. Поряд з цим, для розрахунку інших вузлів мають місце дещо інші підходи. Як приклад розглянемо порядок обґрунтування кінцевих співвідношень, які використовують для розрахунку отвору для витікання кисню.

В основу розрахунку діаметра отвору для витікання кисню покладено рівняння нерозірваності потоку:

$$Q = S \cdot W \cdot \gamma_{\text{гпс}} \quad (6.13)$$

де Q – кількість кисню, яка витікає з отвору в одиницю часу, кг/с;

S – площа отвору для витікання кисню, м²;

W – швидкість витікання кисню через отвір, м/с;

$\gamma_{\text{гпс}}$ – питома маса газу середовища, до якого йде витікання, кг/м³.

Як правило, кількість газу відома, оскільки, наприклад, в наведеному випадку вона однозначно пов'язана з постійною подачею кисню ($q=1,4$ л/хв.), а швидкість витікання та питому масу можна знайти, використовуючи фізичні закономірності

Так, за законами динаміки газів із курсу термодинаміки, швидкість витікання газів через отвір при адіабатичному процесі визначається наступною залежністю:

$$W = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \cdot p_2 \cdot V_2} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{\text{ппс}}}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right], \quad (6.14)$$

де $k = 1,4$ – показник адіабати кисню (двоатомного газу);

P_2 – тиск кисню у камері редуктора (тиск середовища, з якого має місце виток газу);

$P_{\text{ппс}}$ – тиск газоповітряної суміші у повітропровідній системі РДА (тиск середовища, до якого витікає газ);

V_2 – питомий об'єм камери редуктора, м³/кг.

Швидкість витікання газу з отвору залежить від тиску середовища, до якого він витікає, до тих пір, поки її величина не перевищить критичного рівня, що дорівнює швидкості звуку. Якщо швидкість витікання вище критичної (вище швидкості звуку), то змінення тиску $p_{\text{ппс}}$ середовища, до якого відбувається витікання, перестає впливати на швидкість витікання. В наведеному випадку швидкість виток буде залежити від тиску p_2 у камері редуктора (тиску середовища, з якого витікає кисень).

Відношення тисків, за якого швидкість витікання досягає критичного рівня, називається “критичним”. Величина критичного відношення обумовлена рівнянням:

$$\frac{p_{\text{крит}}}{p_2} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k+1}}. \quad (6.15)$$

При витіканні кисню величина критичного відношення являє собою:

$$\frac{p_{\text{крит}}}{p_2} = \left(\frac{2}{1,4+1} \right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 0,528. \quad (6.16)$$

У РДА, які нормально працюють, відношення абсолютних тисків середовища, до якого витікає кисень, $p_{\text{крит}}$, і середовища, з якого він витікає, p_2 , завжди у всіх вузлах значно менше критичного. Відповідно швидкість витікання кисню завжди вище критичної, тобто у всіх випадках витікання відбувається зі звуковою швидкістю. Внаслідок цього, при розрахунках випускних отворів деталей РДА можна орієнтуватися на критичне відношення $\frac{p_{\text{крит}}}{p_2}$.

Враховуючи це, в рівняння (6.14) можна підставити величину критичного відношення $\frac{p_{\text{крит}}}{p_2}$. Якщо піднести обидві частини рівняння

(6.15) до ступеня $\frac{k-1}{k}$, отримаємо:

$$\left(\frac{p_{\text{крит}}}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{2}{k+1}. \quad (6.17)$$

Процес витікання кисню відхиляється від адіабатичного, оскільки в реальних умовах газ третью о стінки дроселя, внаслідок чого в цій зоні має місце теплообмін. Враховуючи це, після елементарних алгебраїчних

перетворень формулу (6.14) можна представити наступним чином:

$$W = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot k \cdot p_2 \cdot V_2} \cdot (k + 1) = \mu \cdot \sqrt{2 \frac{k}{k + 1} \cdot p_2 \cdot V_2}, \quad (6.18)$$

де $\mu=0,9$ – коефіцієнт витоку, який враховує відхилення процесу від адіабатичного.

Питома маса $\gamma_{\text{ппс}}$ газоповітряної суміші повітропровідної системи, до якої витікає кисень, може бути виражена через питомий об'єм повітропровідної системи наступним чином:

$$\gamma_{\text{ппс}} = \frac{1}{V_{\text{ппс}}}, \text{ [кг/м}^3\text{]} \quad (6.19)$$

де $V_{\text{ппс}}$ – питомий об'єм повітропровідної системи РДА, м³/кг.

Оскільки в рівняння (6.18) входить питомий об'єм V_2 газу в камері редуктора середовища, з якого відбувається витікання, то у рівнянні (6.19) суттєво V_2 представити через V_1 . Це можливо внаслідок того, що при адіабатичному процесі витікання змінення тиску газу відбувається обернено пропорційно об'єму, який підноситься до ступеня k , тобто

$$\frac{p_2}{p_{\text{ппс}}} = \left(\frac{V_{\text{ппс}}}{V_2} \right)^k. \quad (6.20)$$

Звідки

$$V_{\text{ппс}} = V_2 \cdot \left(\frac{P_2}{P_{\text{ппс}}} \right)^{1/k}. \quad (6.21)$$

Підставляючи отримане значення $V_{\text{ппс}}$ до формули (6.19) та

замінюючи відношення тисків його критичним значенням за (6.17), отримуємо:

$$\gamma_{\text{крит}} = \frac{1}{V_2} \cdot \left(\frac{p_{\text{крит}}}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}} = \frac{1}{V_1} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}. \quad (6.22)$$

Підставляємо отримані значення швидкості витікання кисню (6.18) та питомої маси газоповітряної суміші у повітропровідній системі (6.22), до якої відбувається витікання, в рівняння нерозірваності потоку (6.13) і отримуємо

$$\begin{aligned} Q &= S \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1}} \cdot P_2 V_2 \cdot \frac{1}{V_2} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} = \left| \frac{2}{k-1} + 1 = \frac{k+1}{k-1} \right| = \\ &= S \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1}} \cdot P_2 V_2 \cdot \frac{1}{V_2^2} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} = \\ &= S \cdot \mu \sqrt{k \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \cdot \frac{P_2}{V_2}. \end{aligned} \quad (6.23)$$

З рівняння Менделєєва – Клапейрона

$$p_2 \cdot V_2 = R \cdot T, \quad (6.24)$$

де $R=260$ – питома газова постійна кисню, Дж/(кг·К);

T – абсолютна температура в зоні витоку, К;

знаходимо, що

$$V_2 = \frac{RT}{P_2}. \quad (6.25)$$

Після підстановки (6.25) в (6.23) отримаємо:

$$Q = S \cdot \mu \cdot p_2 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot g}{R \cdot T}} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}. \quad (6.26)$$

Якщо в зоні витоку прийняти, що абсолютна температура $T=293^0K$ (нормальні умови), а також підставити постійні величини $g=9,81$ м/с², $k=1,4$ та $R=260$ Дж/(кг·к), формула (6.26) набуває вигляду:

$$Q = S \cdot \mu \cdot p_2 \sqrt{\frac{1,4}{260 \cdot 293}} \cdot \left(\frac{2}{1,4+1}\right)^{\frac{1,4+1}{1,4-1}} \approx 0,00248 \cdot S \cdot \mu \cdot p_2. \quad (6.27)$$

З виразу (6.27) можна знайти необхідну площину отвору для витікання кисню:

$$S \approx \frac{Q}{0,00248 \cdot \mu \cdot p_2}, [\text{м}^2] \quad (6.28)$$

а також відповідний діаметр:

$$d \approx \sqrt{\frac{4Q}{3,14 \cdot 0,00248 \cdot \mu \cdot p_2}} \approx 22,66 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\mu \cdot p_2}}. [\text{м}] \quad (6.29)$$

Для прикладу приведемо розрахунок діаметра дюзи РДА КИП-8, приймаючи, що тиск p_2 у камері редуктора буде 0,58 МПа, а постійна

подача дорівнює $q=1,4$ л/хв. Враховуючи те, що кисень має щільність 1,42895 г/л, вираз (6.29) набуде вигляду:

$$d \approx 22,66 \cdot \sqrt{\frac{1,4 \cdot 1,42895 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,9 \cdot 5,8 \cdot 10^5}} \approx 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м} \approx 0,18 \text{ мм}. \quad (6.30)$$

Наведений приклад свідчить, що розрахунок автономного ізолюючого апарата є досить складною інженерною задачею.

Крім того, необхідно враховувати і те, що через технологічні особливості виготовлення, наприклад, отвору для витікання кисню його розмір може дещо відрізнятись від розрахованого. Також може коливатись і коефіцієнт μ витікання. В той же час постійна подача q повинна дорівнювати заданому рівню (1,4 л/хв). Аналіз виразу (6.27) свідчить, що це можна забезпечити за рахунок регулювання тиску p_2 у камері редуктора. Як було показано раніше в 6.2, для цього в редукторі застосовується регулювальна пружина.

6.6. Киснепостачання регенеративних дихальних апаратів

6.6.1. Особливості киснепостачання РДА

В ідеальному випадку киснепостачальна система ідеального РДА повинна задовольняти наступним вимогам:

- 1) подавати кисень у повітропровідну систему РДА з об'ємною витратою, яка дорівнює швидкості вживання його газодимозахисником;
- 2) забезпечити оптимальний рівень об'єму кисню у вдихуваному повітрі, щоб він був близьким до його об'ємної долі безпосередньо в атмосферному повітрі (21 %).

Таким вимогам задовольняють автоматичні системи регенерації

повітря в герметичних приміщеннях, наприклад, в космічних кораблях та підводних човнах. Їх характеризує відносна складність і дороговизна, але, в той же час, вони підтримують задану об'ємну долю кисню, забезпечуючи економну витрату та максимально можливий час роботи. Подача кисню здійснюється за командами газоаналізатора, який постійно контролює склад кисню у повітрі. Застосування такого способу киснепостачання в автономних ізолюючих апаратах на сьогодні майже неможливе, оскільки викликає дуже багато технічних труднощів, пов'язаних, в першу чергу, зі зростанням масо-габаритних характеристик.

Киснепостачальна система реального РДА відрізняється від системи ідеального апарата наступним:

- по-перше, відсутністю контролю за об'ємною долею кисню у вдихуваному повітрі;
- по-друге, відсутністю зворотного зв'язку, який би керував подачею кисню.

Внаслідок цього киснепостачальна система реального РДА не є стійкою до складу кисню у вдихуваному повітрі. Це призводить до того, що у випадку подачі кисню у меншому об'ємі, ніж це необхідно для вживання його газодимозахисником, відбувається дуже швидке зменшення об'ємної долі його у вдихуваному повітрі, оскільки легені та повітропровідна система апарата мають досить невеликий сумарний об'єм (близько 12 л). У той же час збільшення складу кисню в газоповітряній суміші, яка знаходиться в повітропровідній системі, відбувається в тому випадку, коли його подача навіть незначною мірою більше того рівня, який вживається.

Але оскільки забезпечення безпеки дихання є головною задачею ізолюючого апарата, у всіх сучасних РДА здійснюється збиткова подача кисню. До особливостей роботи в реальному РДА відноситься також можливість накопичення в дихальній системі “апарат – органи дихання”

(ДРА-ОД) інертної частини газової суміші (азот, аргон та ін.).

Джерела накопичення азоту:

- безпосередньо сам газоподібний (або рідкий) кисень, в якому об'ємна доля азоту, який знаходиться у виді домішки, досягає 0,8 %;
- азот, який проникає внаслідок підсосів навколишнього повітря крізь нещільності;
- деяка кількість азоту постійно знаходиться в розчиненому стані у крові та тканинах. Його парціальний тиск відповідає парціальному тиску азоту в навколишньому атмосферному повітрі. Парціальний тиск азоту в повітрі, яке вдихає газодимозахисник, що знаходиться в апараті, значно нижчий, ніж в атмосфері. Це призводить до того, що деяка кількість азоту виділяється з організму в систему ДРА-ОД.

Оскільки дихальна система ДРА-ОД має постійний і відносно невеликий об'єм, накопичення азоту в ній призводить до небезпечного зниження об'єму кисню. У зв'язку з тим, що вилучення інертних газів з дихальної суміші шляхом їх поглинання не можливе, єдиним шляхом є продувка системи. Таким чином:

спосіб киснепостачання РДА – це сукупність способів подачі кисню та продувки від інертних газів, що накопичуються (в першу чергу азоту).

6.6.2. Закономірності киснепостачання

На рис. 6.10 приведено схему, якою доцільно користуватися для того, щоб встановити закономірності змінення складу кисню в замкнутій системі ДРА-ОД.

Еластичні частини повітропровідної системи РДА (дихальний мішок) і органи дихання (легені) умовно показані у вигляді двох з'єднаних сильфонів (міхів).

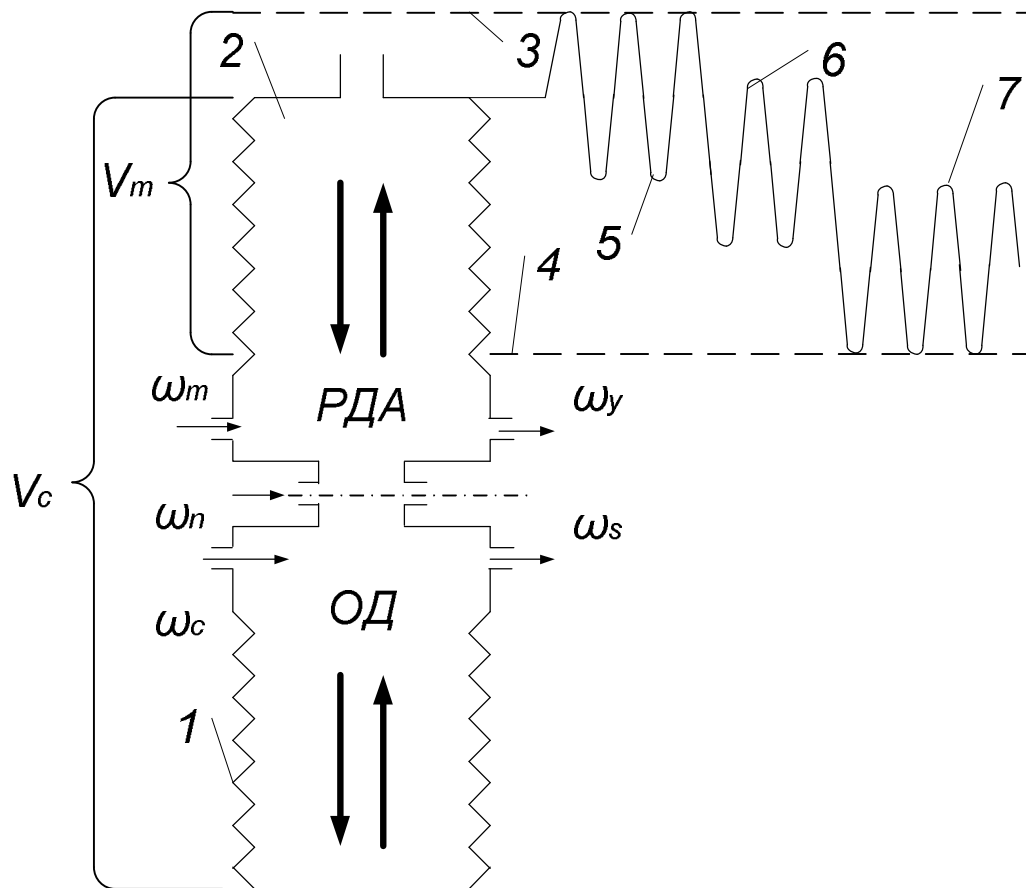


Рисунок 6.10 – Схема киснепостачання РДА зі стиснутим киснем

1 – легені; 2 – дихальний мішок; 3 та 4 – рівні роботи відповідно збиткового клапана та легеневого автомата; 5, 6 та 7 – відповідно збитковий, проміжний та легенево-автоматичний режим пульсації дихального мішка

Під час виведення рівнянь приймаються наступні припущення:

- об'єм системи РДА-органи дихання (ОД) під час дихання незмінний $V_c = \text{const}$;
- всередині системи відбувається ідеальне перемішування газів;
- надходження до системи газів або газоповітряних сумішей та вилучення їх з неї відбувається безперервно та рівномірно.

Вважається, що в дихальну систему, яка має постійний об'єм V_c (л), подається ω_c (л/хв) вуглекислого газу, що виділяється організмом газодимозахисника, ω_m (л/хв) кисню з балона та підсосується ω_n (л/хв) повітря з навколишнього середовища.

Із системи вилучається ω_s (л/хв) кисню, який споживається організмом, ω_y (л/хв) вуглекислого газу, який повністю поглинається в регенеративному патроні, та ω_r (л/хв) дихальної суміші вилучається в атмосферу через продувочний пристрій.

Оскільки $\omega_y = \omega_c$, то рівняння матеріального балансу системи набуває вигляду:

$$\omega_m + \omega_n = \omega_s + \omega_r. \quad (6.31)$$

Нехай в деякий момент часу доля кисню в системі дорівнює C і, відповідно, кількість кисню $C \cdot V_c$. За відрізок часу dt в систему потрапить $(a\omega_m + b\omega_n)dt$ і вилучається $(\omega_s + C\omega_r)dt$ кисню (a та b – об’ємні доли, відповідно, в балоні та в повітрі, яке підсосується). Це ж змінення кількості кисню може бути виражене як добуток об’єму системи V_c на змінення об’ємної долі $V_c dC$. Тоді:

$$(a\omega_m + b\omega_n - \omega_s - C\omega_r)dt = V_c dC. \quad (6.32)$$

Проінтегруємо рівняння (6.32) у границях від початкового складу об’ємної долі кисню C_0 до тієї об’ємної долі C кисню, яку потрібно знайти, та розв’яжемо відносно останнього. Для цього спочатку позначимо:

$$a\omega_m + b\omega_n - \omega_s = A. \quad (6.33)$$

Тоді

$$A dt - \omega_r C dt = V_c dC, \quad (6.34)$$

або

$$dt = \frac{V_c}{A - \omega_r C} \cdot dC. \quad (6.35)$$

Оскільки

$$\int_0^t dt = \int_{C_0}^C \frac{V_c}{A - \omega_r C} \cdot dC = -\frac{V_c}{\omega_r} \int_{C_0}^C \frac{d(A - \omega_r C)}{A - \omega_r C}, \quad (6.36)$$

то

$$t = \frac{C}{C_0} \left| -\frac{V_c}{\omega_r} \ln(A - \omega_r C) = -\frac{V_c}{\omega_r} [\ln(A - \omega_r C) - \ln(A - \omega_r C_0)] \right|. \quad (6.37)$$

Враховуючи те, що

$$\ln x - \ln y = \ln \frac{x}{y}, \quad (6.38)$$

маємо

$$-\frac{\omega_r t}{V_c} = \ln \frac{A - \omega_r C}{A - \omega_r C_0}; \quad (6.39)$$

$$e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} = \frac{A - \omega_r C}{A - \omega_r C_0}; \quad (6.40)$$

$$(A - \omega_r C_0) \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} = A - \omega_r C; \quad (6.41)$$

$$\omega_r C = A - (A - \omega_r C_0) \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}}; \quad (6.42)$$

$$C = \frac{A}{\omega_r} - \left(\frac{A}{\omega_r} - C_0 \right) \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} . \quad (6.43)$$

В результаті, звернувшись до (6.33), отримаємо:

$$C = \frac{a\omega_m + b\omega_n - \omega_s}{\omega_r} - \left(\frac{a\omega_m + b\omega_n - \omega_s}{\omega_r} - C_0 \right) \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} . \quad (6.44)$$

З рівняння (6.44) випливає, що другий член правої частини наближається до нуля, а об'ємна доля кисню асимптотично наближається до граничного рівня:

$$C_{\text{гран}} = \frac{a\omega_m + b\omega_n - \omega_s}{\omega_r} . \quad (6.45)$$

З урахуванням цього (6.44) набуде вигляду:

$$C = C_{\text{гран}} - (C_{\text{гран}} - C_0) \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} . \quad (6.46)$$

Якщо продиференціювати (6.46) за часом t , отримаємо швидкість змінення об'ємної долі кисню в системі ДРА-ОД:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\omega_r (C_{\text{гран}} - C_0)}{V_c} \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} . \quad (6.47)$$

Аналіз отриманих рівнянь показує, що в загальному випадку за наявності продувки ω_r та підсосів навколишнього повітря ω_n об'ємна доля кисню C наближається до граничного значення $C_{\text{гран}}$, рівень якого

можна визначити за (6.45). Якщо в початковий момент t_0 об'ємна доля кисню C_0 є меншою за граничний рівень $C_{\text{гран}}$ (тобто $C_0 < C_{\text{гран}}$), то відбувається підвищення складу кисню в системі; якщо ж $C_0 > C_{\text{гран}}$ – зменшення. Швидкість змінення складу кисню тим більше, чим його склад у початковий момент часу відрізняється від граничного рівня. Крім того, ця швидкість зростає з підвищенням продукції ω_p та зменшенням місткості системи V_C .

Звідси випливає основна вимога, яка висувається до способу киснепостачання, – гранична об'ємна доля кисню у повітрі РДА повинна бути більше мінімально допустимої долі його у вдихуваному повітрі:

$$C_{\text{гран}} \geq C_{\text{доп}} = 0.21. \quad (6.48)$$

Оскільки вимога (6.48) повинна виконуватись автоматично без свідомого керування газодимозахисником режимом роботи РДА, загалом приймають граничний рівень $C_{\text{гран}} > 0,5$.

Існує три основних способи киснепостачання.

Першим, найбільш простим, є постійна подача кисню, яка не залежить від споживання його газодимозахисником ($\omega_m = \text{const}$). Її розмір приймається на рівні споживання кисню під час виконання важкої роботи, але не менше 2 л/хв. Продувка здійснюється через збитковий клапан за рахунок перевищення подачі над споживанням кисню. При короткочасній дуже важкій роботі постійна подача кисню не забезпечує потреби газодимозахисника в ньому. В цьому випадку додаткова подача кисню здійснюється через байпас вручну.

Такий спосіб киснепостачання РДА зі стиснутим киснем застосовувався в Німеччині на початку двадцятого сторіччя, а у Великій Британії (апарат “Прешо”) – до середини двадцятого сторіччя. На

сьогодні він використовується тільки в РДА з рідким киснем, в яких значна об'ємна витрата газифікації зрідженого газу (6–12 л/хв.) потрібна для ефективного охолодження повітря РДА.

Характерними особливостями РДА з постійною подачею кисню є:

- неекономне витрачання кисню;
- дуже великий рівень кисню у вдихуваному повітрі (більше 90% за будь-якого фізичного навантаження);
- відсутня небезпека заазотування системи.

Другим, найбільш поширеним способом, є комбінована подача кисню (постійна та легенево-автоматична) з продувкою через збитковий клапан.

Третій, з боку технічного розв'язання є найбільш складним, спосіб (група способів) – постачання кисню з економною витратою його запасу.

6.6.3. Спосіб киснепостачання з комбінованою подачею кисню

Комбінована подача кисню з'явилась після застосування в конструкції РДА у 1924 році легеневого автомата. На сьогодні вона використовується у переважній більшості апаратів зі стиснутим киснем. Цей спосіб киснепостачання характеризується:

- простотою та надійністю киснеподавальних та продувочних пристроїв;
- стійким рівнем кисню в повітрі, яким дихає газодимозахисник;
- досить економним витрачанням запасу кисню.

Подача кисню при комбінованому способі описується рівнянням виду:

$$\omega_m = q = q_{\text{л/а}} + \bar{q}_{\text{л/а}} \text{ ,} \quad (6.49)$$

де q_{\pm} – постійна подача кисню, л/хв.;

$\bar{q}_{л/а}$ – легенево-автоматична подача кисню (середня за остаточний відрізок часу), яка доповнює постійну подачу q_{\pm} тоді, коли остання не забезпечує потребу газодимозахисника в кисні, л/хв.

Дихальний мішок такого РДА, залежно від споживання газодимозахисником кисню, може працювати у двох режимах (рис. 4.10). Якщо споживання кисню є меншим за його постійну подачу q_{\pm} , то крива пульсації мішка розташовується ближче до рівня роботи збиткового клапана, який відкривається в кінці видихів та випускає збиткову газову суміш до навколишнього середовища, здійснюючи тим самим продувку системи. Такий режим називається *збитковим*. Він є безпечним по відношенню до заазотування дихальної системи ДРА-ОД.

Коли газодимозахисник споживає кисню більше, ніж його забезпечує постійна подача, крива пульсації зсувається у бік зменшення об'єму мішка та притискається до рівня роботи легеневого автомата. В цьому випадку легеневий автомат в кінці вдихів подає до системи порцію кисню, яка компенсує недостатність постійної подачі. При такому режимі, який називається *легенево-автоматичним*, продувка дихальної системи відсутня. Внаслідок цього з'являється небезпека її заазотування.

Ще існує *проміжний (перехідний) режим*, під час якого не працюють ні збитковий клапан, ні легеневий автомат, тобто подача кисню до системи в цьому випадку відповідає його споживанню. В такому режимі апарат працює короткочасно, при переході від збиткового до легенево-автоматичного режиму та навпаки.

Розглянемо особливості змінення складу кисню в системі ДРА-ОД при комбінованій його подачі. За умови збереження сталості об'єму дихальної системи визначимо продувку для збиткового режиму:

$$\omega_r = q_- - \omega_s + \omega_n. \quad (6.50)$$

Оскільки (як це розглядалось у третьому розділі) підсос навколишнього повітря:

$$\omega_n = K_n \cdot \omega_l, \quad (6.51)$$

де K_n – коефіцієнт підсосу;

а легеневу вентиляцію ω_l можна виразити через споживання кисню ω_s газодимозахисником і коефіцієнт S_0 його відбору з дихальної суміші:

$$\omega_s = S_0 \cdot \omega_l \text{ і, відповідно, } \omega_l = \frac{\omega_s}{S_0}, \quad (6.52)$$

то (6.50) можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} \omega_r &= q_- - \omega_s + K_n \cdot \omega_l = q_- - \omega_s + K_n \cdot \frac{\omega_s}{S_0} = q_- - \omega_s \cdot \left(1 - \frac{K_n}{S_0}\right) = \\ &= q_- - \frac{\omega_s}{S_0} \cdot (S_0 - K_n). \end{aligned} \quad (6.53)$$

Після підстановки (6.53) у (6.46) отримаємо наступний вираз для визначення об'ємної долі кисню в системі при збитковому режимі роботи:

$$C = C_{\text{гран}} - (C_{\text{гран}} - C_0) \cdot e^{-\frac{(S_0 - K_n) \cdot \omega_s - S_0 \cdot q_- \cdot t}{S_0 V_c}}; \quad (6.54)$$

$$C_{\text{гран}} = \frac{a \cdot S_0 \cdot q_{\text{=}} - (S_0 - b \cdot K_n) \cdot \omega_s}{S_0 \cdot q_{\text{=}} - (S_0 - K_n) \cdot \omega_s}. \quad (6.55)$$

Робота у збитковому режимі відбувається до такого рівня споживання кисню ω_s , за якого продувка буде дорівнювати нулю. Вказаний рівень знаходять з рівняння (6.53), прийнявши $\omega_r = 0$:

$$q_{\text{=}} - \frac{\omega_s}{S_0} \cdot (S_0 - K_n) = 0; \quad (6.56)$$

$$\omega_s = \frac{S_0 \cdot q_{\text{=}}}{S_0 - K_n}. \quad (6.57)$$

При збитковому режимі збільшується об'ємна доля кисню. Якщо відсутні підсоси повітря ($K_n=0$), то гранична доля кисню:

$$C_{\text{гран}} = \frac{a \cdot S_0 \cdot q_{\text{=}} - S_0 \cdot \omega_s}{q_{\text{=}} - S_0 \cdot \omega_s} = \frac{a \cdot q_{\text{=}} - \omega_s}{q_{\text{=}} - \omega_s}, \quad (6.58)$$

яка за зменшення ω_s наближається до об'ємної долі кисню в балоні a . При цьому необхідно відмітити, що при реальних значеннях об'ємної долі кисню a , коефіцієнта підсосу K_n , коефіцієнта відбору S_0 кисню з дихальної суміші, об'єму балона V_c та постійної подачі $q_{\text{=}}$ значення $C_{\text{гран}}$ знаходиться на рівні 85–98%, що підтверджує небезпечний вплив роботи в РДА на здоров'я газодимозахисників.

Змінення об'ємної долі кисню в легенево-автоматичному режимі, коли відсутня продувка, знаходиться шляхом підстановки у (6.54) $\omega_r=0$. Після цього цей вираз набуває невизначеного вигляду. Розкриємо невизначеність, використовуючи (6.33). Тоді

$$C = \frac{A}{\omega_r} - \left(\frac{A}{\omega_r} - C_0 \right) \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} = \frac{A}{\omega_r} - \frac{A}{\omega_r} \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} + C_0 \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}}, \quad (6.59)$$

і, відповідно,

$$\begin{aligned} \lim_{\omega_r \rightarrow 0} C &= \lim_{\omega_r \rightarrow 0} C_0 \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} + \lim_{\omega_r \rightarrow 0} \frac{A}{\omega_r} - \lim_{\omega_r \rightarrow 0} \frac{A}{\omega_r} \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} = \\ &= \left| \text{невизначеність типу } \infty - \infty \right| = \\ &= C_0 + \lim_{\omega_r \rightarrow 0} \frac{A - A \cdot e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}}}{\omega_r} \left(\text{невизначеність типу } \frac{0}{0} \right). \end{aligned}$$

Відповідно до правила Лопіталя:

$$\begin{aligned} \lim_{\omega_r \rightarrow 0} C &= C_0 + \lim_{\omega_r \rightarrow 0} \frac{\left(A - A e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} \right)'}{\omega_r'} = C_0 + A \cdot \frac{1}{V_c} \cdot \lim_{\omega_r \rightarrow 0} e^{-\frac{\omega_r t}{V_c}} = \\ &= C_0 + A \cdot \frac{1}{V_c}. \end{aligned} \quad (6.60)$$

Оскільки

$$\begin{aligned} A &= a \cdot \omega_m + b \cdot \omega_n - \omega_s = \left| \omega_m = \omega_s - \omega_n + \omega_r; \omega_r \rightarrow 0 \right| = \\ &= a \cdot (\omega_s - \omega_n) + b \cdot \omega_n - \omega_s = -\left[(1-a) \cdot \omega_s + (a-b) \cdot \omega_n \right] = \\ &= -\left[(1-a) \cdot \omega_s \cdot \frac{S_0}{S_0} + (a-b) \cdot \omega_n \cdot \frac{S_0}{S_0} \right] = \\ &= -\left[(1-a) \cdot S_0 \cdot \frac{\omega_s}{S_0} + (a-b) \cdot \omega_n \cdot \frac{\omega_s}{\omega_l} \cdot \frac{1}{S_0} \right] = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= - \left[(1-a) \cdot S_0 \cdot \frac{\omega_s}{S_0} + (a-b) \cdot K_n \cdot \frac{\omega_s}{S_0} \right] = - [(1-a) \cdot S_0 + (a-b) \cdot K_n] \cdot \frac{\omega_s}{S_0} = \\
&= \left| K_n \frac{\omega_s}{S_0} = K_n \omega_l = \omega_n \right| = - [(1-a) \omega_s + (a-b) \omega_n], \quad (6.61)
\end{aligned}$$

то

$$C = C_0 - [(1-a) \cdot \omega_s + (a-b) \cdot \omega_n] \cdot \frac{t}{V_c}. \quad (6.62)$$

Тоді

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{(1-a) \cdot \omega_s + (a-b) \cdot \omega_n}{V_c}, \quad (6.63)$$

або, враховуючи що

$$C = C_0 - [(1-a) \cdot S_0 + (a-b) \cdot K_n] \cdot \frac{\omega_s \cdot t}{S_0 \cdot V_c}, \quad (6.64)$$

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{(1-a) \cdot S_0 + (a-b) \cdot K_n}{S_0 \cdot V_c} \cdot \omega_s. \quad (6.65)$$

З рівнянь (6.64) та (6.65) видно, що при наведеному режимі роботи об'ємна доля кисню не прямує до якоїсь визначеної границі, а безперервно зменшується за лінійним законом і може дорівнювати нулю. Максимальна швидкість зменшення об'ємної долі кисню буде за наявності підсосів повітря, особливо в безкисневому середовищі (при $b=0$), а за їх відсутності:

$$\frac{dC}{dt} = -(1-a) \cdot \frac{\omega_s}{V_c}. \quad (6.66)$$

Тобто небезпека заазотування дихальної системи при легенево-автоматичному режимі роботи є досить реальною. У зв'язку з цим в РДА з комбінованим способом киснепостачання постійна подача кисню встановлюється в межах від 1,2 до 1,7 л/хв (нормальні умови). Більшість робіт, які виконуються в РДА, пов'язана з меншим середнім споживанням кисню, в результаті чого РДА працює у збитковому режимі досить довго. Час виконання тяжких робіт в РДА без продувки в легенево-автоматичному режимі обмежується фізіологічними можливостями газодимозахисника. Чим більше фізичне навантаження, тим швидше він знижує темп роботи та переходить до безпечного збиткового режиму. Внаслідок цього під час роботи в легенево-автоматичному режимі об'ємна доля кисню в повітропровідній системі РДА не встигає знизитись до небезпечної межі. Таким чином, безпечність праці по відношенню до заазотування забезпечується за рахунок природного чергування періодів тяжкої та легкої роботи.

Ступінь безпеки дихання при комбінованому способі киснепостачання залежить від вірного вибору постійної подачі кисню. В свій час у респіраторі РКК2 вона дорівнювала 1,2 л/хв. (нормальні умови). Дослідження показали, що такий рівень є недостатнім для забезпечення безпечного рівня вміст кисню. В РДА фірми "Дрегерверк" вже більше 50 років прийнято постійну подачу кисню 1,5 л/хв. У вітчизняних РДА з 1963 року регламентовано постійну подачу не менше 1,3 л/хв. (нормальні умови). За такої постійної подачі кисню продувка забезпечує також вилучення з дихальної системи азоту, який виділяється з організму.

Важливою вимогою безпеки дихання в РДА з комбінованим (а також економним) способом киснепостачання є висока об'ємна доля кисню в

дихальній системі на початку апарато-зміни. Це досягається під час виконання оперативної перевірки РДА трикратної системи через легеневий автомат (вдихи з апарата, видихи в атмосферу) або шляхом заповнення дихального мішка за допомогою байпасу.

Контрольні запитання та завдання до глави 6

1. На чому базується принцип дії повітропостачальної системи АСВ та киснепостачальної системи РДА?

2. В чому полягає принципова різниця між редукторами прямої та зворотної дії?

3. В чому полягає сутність регулювання тиску в камері редуктора?

4. Яка сила виконує роль зворотного зв'язку в газовому редукторі?

5. Надайте рівняння рівноваги рухомої системи редуктора.

6. Функціональна залежність усталеності редукованого тиску одночасно від тиску на вході редуктора та масової витрати газу називається _____ характеристикою редуктора.

7. Як змінюється редукований тиск у редукторі прямої (зворотної) дії за мірою витрати газу з балона?

8. Пропорційно чому змінюється редукований тиск у редукторі прямої (зворотної) дії?

9. Як змінюється статична характеристика редуктора внаслідок зміни розмірів мембрани?

10. Як впливає на статичну характеристику редуктора площа сідла клапана?

11. Що уявляє собою легеневий автомат ізолюючого апарата?

12. Вкажіть нормовані показники, за яких повинні спрацьовувати клапани вдиху легеневого автомата та клапан видиху лицевої частини.

7. ОЧИСТКА ПОВІТРЯ, ЯКЕ ВИДИХАЄ ГАЗОДИМОЗАХИСНИК, ВІД ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ

7.1. Розвиток процесу очищення повітря від вуглекислого газу

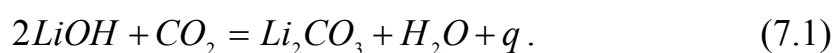
В регенеративному респіраторі професора Шванна (рис. 3.9) регенеративний патрон складався з двох серій камер, які були наповнені гідратом окису кальцію $Ca(OH)_2$, що був оброблений гідроокисом натрію $NaOH$. Камери послідовно з'єднувались таким чином, що повітря, яке проходило через них, рухалось довгим зигзагоподібним шляхом через поглинач спочатку із крупним, а потім з мілким зерном.

Складність регенеративного (поглинаючого) патрона в респіраторі Шванна викликала спроби полегшити та спростити цю систему респіратора шляхом використання дихального мішка як регенеративного приладу. Це здійснювалось шляхом поміщення в мішок подушок з матерчатих або металевих сіток або пористих матеріалів, наприклад, гранульованої пемзи, яка просочувалась під час роботи респіратора концентрованим лужним розчином (респіратор д-ра Рената у Франції, пневматофор Вальтер-Гертнера 1895 р. в Австрії, типу Шамрок 1897 р. в Германії), або насипання в дихальний мішок паличок або зерен їдкового натрію (респіратори Майер-Пілара 1897 р. в Австрії, Флейсса-Девіса 1907, 1912 та 1926 рр. в Англії). Такий спосіб регенерації хоча і спрощував конструкцію респіратора, але очистка повітря від вуглекислого газу відбувалась недостатньо; відмічались випадки, коли концентрація вуглекислого газу в респіраторах такого типу доходила до 7–8%.

Крім цього, при такому способі були значні негаразди по відношенню до перезарядження та чистки респіратора, а при використанні сухого поглинача він був менш надійним, оскільки якість спорядження та потужність поглинаючого пристрою в респіраторі кожний раз залежала від

підготовленості осіб, які користувались ним. Внаслідок цього розглянуті вище способи широкого розповсюдження не отримали. Всі сучасні регенеративні дихальні апарати сконструйовані за принципом виділення регенеративного патрона і його спорядження сухим поглиначем.

В регенеративних дихальних апаратах зі стиснутим киснем застосовують два види хемосорбентів вуглекислого газу: вапняний на базі гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$ та лужний на основі гідроксиду натрію $NaOH$. Відомий також літєвий хемосорбент $LiOH$, який має відчутні переваги перед вищезгаданими. Його застосовують, наприклад, для забезпечення роботи автономних систем життєзабезпечення космонавтів з метою поглинання вуглекислого газу. Реакція поглинання має вид:



Але через дефіцитність та високу вартість сировини в пожежно-рятувальних підрозділах літєвий хемосорбент не використовується.

Окреме місце серед хемосорбентів займає кисневмісний продукт на основі надперекисів лужних металів NaO_2 або KO_2 , які, внаслідок хімічної реакції поглинання вуглекислого газу, виділяють кисень у кількості, яка є достатньою для повної регенерації видихуваного повітря.

7.2. Основні характеристики сорбційних процесів

Перша фаза регенерації повітря, яке видихає газодимозахисник, в регенеративних дихальних апаратах полягає в його очистці від вуглекислого газу. Цей процес відбувається в регенеративному патроні внаслідок фізико-хімічного процесу *сорбції* (від лат. *sorbeo* – поглинаю).

В загальному випадку сорбція – це поглинання газоподібних або розчинених речовин сорбентами – твердими або рідкими тілами. Мають

місце наступні види процесів сорбції: *адсорбція*, *абсорбція*, *капілярна конденсація* та *хемосорбція*. Поглинання газів і парів твердими сорбентами, як правило, відбувається за наявності двох або більше із цих процесів, але один з них є основним, визначальним.

Перші три види сорбції – фізичні процеси, дія яких зумовлена силами взаємного тяжіння молекул сорбенту та речовини, яка поглинається. *Адсорбція* – поглинання речовини силами поверхні поглиначу (адсорбенту); *абсорбція* – поглинання, яке супроводжується дифузією поглиненої речовини усередину поглиначу (абсорбенту) з утворенням розчину, тобто відбувається поглинання усім об'ємом поглиначу. В деяких випадках, окрім адсорбції, поглинання газу відбувається внаслідок капілярної конденсації його в порах твердого тіла.

Хемосорбція – процес сорбції, під час якого речовина, що поглинається, та поглинач (хемосорбент) взаємодіють в результаті хімічної реакції з утворенням нової хімічної сполуки.

Сорбенти, що застосовуються для очистки повітря від шкідливих газів у засобах індивідуального захисту органів дихання, – це тверді гранульовані або роздроблені тіла. Найбільш поширеними типами адсорбентів є активоване вугілля, силікагель, алюмогель, ціоліти. Типи хемосорбентів розглянемо нижче.

Із загальних фізичних властивостей сорбентів найбільш важливою є їх пориста структура. Макро- та мікропори пронизують гранули сорбенту у всіх напрямках і забезпечують велику поверхню його зіткнення з очищуваним повітрям. Має місце значна поверхня пор в адсорбентів: питома поверхня їх в активованого вугілля дорівнює 300–500 м²/г, у силікагеля 300–700 м²/г; діаметр пор становить 10⁻⁶–10⁻⁴ мм. Невелика пористість у хемосорбентів. Так, наприклад, питома поверхня пор у найбільш поширеного вапняного хімпоглиначу становить 8–12 м²/г.

Завдяки самій природі фізичного процесу адсорбції та великій

активній поверхні адсорбенту, він поглинає газ майже миттєво. Адсорбція – зворотний процес: уся поглинена речовина може бути вилучена в результаті зворотного процесу десорбції. У зв'язку з цим адсорбенти легко регенеруються. Процес адсорбції є екзотермічним, але кількість тепла, яка виділяється при цьому, є незначною та близькою до рівня теплоти конденсації.

Процес хемосорбції лине повільніше, ніж адсорбції, тому що контакт між газом, котрий поглинається, і активною поверхнею хемосорбенту ускладнюється плівкою, яка утворюється з продуктів реакції. Крім того і сама поверхня пор є меншою, ніж у адсорбенту. Хемосорбент у процесі поглинання газу виділяє більшу кількість тепла, що призводить до значного нагріву як поглиначу, так і очищуваного повітря. Теплота реакції поглинання деяких сорбентів (наприклад, надперекисів лужних металів) є настільки великою, що може призвести в деяких випадках до стікання і навіть плавлення гранул.

Найбільш поширений тип поглинаючого патрона з проходженням через нього очищуваного повітря вздовж осі. Елементарний шар поглиначу на вході в патрон називають “лобовим”, а аналогічний шар у кінці патрона – замикаючим. В теорії сорбції існує поняття “працюючий шар поглиначу”. Цей шар сорбенту активно поглинає газ. На початку працюючого шару сорбент максимально насичений поглиненим газом, за ходом потоку ступінь його насиченості зменшується, а в кінці шару процес сорбції тільки починається.

Довжина працюючого шару за інших рівних умов залежить від швидкості процесу сорбції. В поглинальному патроні з адсорбентом вона може бути меншою, ніж загальна довжина робочої частини патрона від лобового до замикаючого шару сорбенту. Коли процес в патроні установиться, в ньому мають місце три зони: зона з повністю відпрацьованим поглиначем, працюючий шар, який пересувається в

напрямку руху потоку газоповітряної суміші, та зона, в якій поглинання ще не відбувається. В момент, коли працюючий шар досягне замикаючого шару патрона, починається проскок газу, що поглинається, тобто має місце неповне його поглинання. Така робота сорбенту в патроні називається “пошаровою схемою його відпрацювання”.

Істотною особливістю хемосорбентів, в порівнянні з адсорбентами, є їх висока здатність поглинати, оскільки в патроні з хемосорбентом зона з повністю відпрацьованим поглиначем не створюється, збільшується довжина працюючого шару протягом всього допроскокового періоду, який при цьому не “відривається” від лобового шару. В момент, коли фронт працюючого шару патрона досягне замикаючого, починається проскок газу, що поглинається.

Але і в цей момент лобовий шар не є насиченим поглиненим газом. Повне його насичення може відбутися, якщо патрон довгий час буде працювати у проскоковому режимі. Така робота сорбенту в патроні називається схемою роботи всієї маси поглиначу.

Таким чином, під час роботи сорбенту в поглинаючому патроні існують два періоди: допроскоковий та проскоковий. Тривалість роботи у проскоковому періоді обмежується гранично допустимим проскоком, розмір якого задається нормативними документами. За обох схем до кінця допроскокового періоду в патроні залишається деяка кількість неповністю відпрацьованого сорбенту. У проскоковому періоді ця кількість зменшується. Тобто чим більшою є загальна довжина шару сорбенту в патроні за інших рівних умов, тим меншою доля невідпрацьованої його частини по відношенню до всієї маси сорбенту, вище коефіцієнт його корисного використання і більшою тривалість робіт (або час захисної дії). В той же час збільшення загальної довжини шару поглиначу призводить до збільшення опору патрона потоку повітря, що проходить крізь нього.

Внаслідок цього при розробці регенеративних патронів однією з

основних умов є вибір оптимальної (раціональної) довжини шару поглиначу. Суттєвою відзнакою хемосорбентів, в порівнянні з адсорбентами, є їх висока поглинаюча здатність. Через це для очистки видихуваного повітря від вуглекислого газу в регенеративних дихальних апаратах застосовують тільки хемосорбенти.

До їх складу входить основна речовина, яка вступає в хімічну реакцію поглинання вуглекислого газу, та добавки, які надають відповідні фізичні якості та активізують реакцію. Сорбційні якості окремого типу хемосорбенту характеризуються трьома показниками: *стехіометричною*, *статичною* та *динамічною* активностями, які вимірюються кількістю речовини, що поглинається (в об'ємних або масових одиницях) на одиницю маси сорбенту.

Стехіометричною активністю називається максимальна, теоретично можлива кількість речовини, яку поглинає одиниця маси активної частини хемосорбенту, тобто основної речовини (без добавок та технологічних домішок). Вона визначається з рівняння хімічної реакції.

Статичною активністю називається кількість речовини, яку поглинає одиниця маси хемосорбенту до моменту досягнення сорбційної рівноваги, за якої подальше поглинання зупиняється.

Статичну активність визначають експериментально за визначених рівнів концентрації газу, котрий поглинається, у повітрі та при температурі. Її розмір завжди менше стехіометричної.

Динамічною активністю називається кількість речовини, яку поглинає одиниця маси сорбенту до моменту появи проскоку в динамічних умовах, тобто в реальному регенеративному патроні, через який проходить реальний потік повітря, що містить певну кількість вуглекислого газу. В окремих випадках динамічну активність виражають, як час захисної дії патрона до виникнення проскоку речовини, що поглинається. Але у практиці найбільше поширення отримала така характеристика

хемосорбенту, яку називають “питомою сорбційною ємністю в динамічних умовах”.

Питома сорбційна ємність – об’єм газу, який поглинає одиниця маси хемосорбенту під час роботи в динамічних умовах до рівня проскоку газу, що встановлено нормативними документами для даного регенеративного патрона або регенеративного дихального апарата. Її розмір завжди менше статичної активності й є основною характеристикою хемосорбенту під час його роботи в конкретних динамічних умовах.

На величину питомої сорбційної ємності впливають три групи факторів, які визначаються відповідно характеристиками хемосорбенту, регенеративного патрона та навантаження, тобто потоку повітря, яке містить вуглекислий газ. Більшу сорбційну ємність має хемосорбент з високими показниками стехіометрії і статичної активності та з більшою поверхнею пор. Зменшення розміру гранул також приводить до збільшення сорбційної ємності, але не за рахунок збільшення її поверхні, а у зв’язку зі збільшенням швидкості дифузії речовини, що сорбується, до середини гранул. Збільшенню питомої сорбційної ємності сприяє більша довжина шару хемосорбенту в патроні, а також рівномірний розподіл потоку повітря по перерізу патрона. Зменшенню питомої сорбційної ємності сприяє збільшення середньої або миттєвої швидкості потоку повітря.

До хемосорбентів вуглекислого газу висуваються наступні основні технічні вимоги:

- висока питома сорбційна ємність;
- опір потоку повітря, що проходить крізь них, повинен бути щонайменшим;
- збільшення тепловмісту повітря, яке очищується, повинно бути невеликим;
- міцність на скресання;

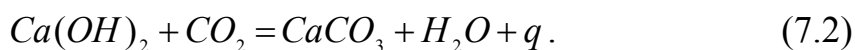
- не повинні виділятися речовини, які б подразнювали органи дихання;
- тривале зберігання поглинаючих властивостей;
- виготовлення з недефіцитного та дешевого матеріалу.

Технічні вимоги до регенеративних патронів повинні відповідати вимогам, що висуваються до сорбентів. Крім того, одна з найважливіших вимог полягає у відповідності захисної здатності регенеративного патрона запасу стиснутого кисню, який витрачається на забезпечення дихання. Тобто регенеративний патрон повинен мати таку здатність поглинати вуглекислий газ, яка дорівнює часу захисної дії регенеративного дихального апарата у хвилинах. Оскільки в регенеративних дихальних апаратах зі стиснутим киснем є індикатор витрати запасу кисню (манометр), а індикатор закінчення захисної здатності хемосорбенту відсутній, з'являється небезпека, що захисна здатність регенеративного патрона закінчиться раніше, ніж запас кисню в балоні. Внаслідок цього загальну поглинаючу здатність патрона збільшують на 10%.

7.3. Вапняний поглинач вуглекислого газу

В нашій країні в якості хемосорбенту вуглекислого газу в регенеративних дихальних апаратах на стиснутому кисні застосовується тільки хімічний вапняний поглинач.

Основою вапняного поглиначу вуглекислого газу є гідрат окису кальцію $Ca(OH)_2$ або гашене вапно. Реакція поглинання вуглекислого газу цією речовиною має наступний вид:



Це екзотермічна реакція, що протікає з виділенням одного моля на один моль вуглекислого газу, який поглинається в регенеративному патроні. Крім того, виділяється частина вологи, яка знаходиться в поглиначу. У результаті цього повітря, яке пройшло через регенеративний патрон, не тільки нагрівається, але ще й зволожнюється. Молярна теплота реакції, за даними різних авторів, становить 80–115 кДж/моль CO_2 . Температура у зоні реакції регенеративного патрона за нормальної температури навколишнього середовища дорівнює 50–55⁰С.

Реальний хемосорбент CO_2 на основі вапняного поглиначу вуглекислого газу являє собою зернистий продукт білого або світло-сірого кольору, основні технічні характеристики якого наведено у табл. 7.1. Гранули мають циліндричну форму з діаметром близько 4 мм. Основну фракцію (90 %) складають гранули розміром від 2,8 до 5,5 мм.

Таблиця 7.1– Технічні характеристики вапняного хімпоглинача ХПВ

Хімічний склад, %	
<i>NaOH</i> , від маси сухої речовини	4
H_2O , від загальної маси	16–21
CO_2 , у складі технологічних домішок, від загальної маси, не більше	4
<i>Ca(OH)₂</i> – основна речовина	інше
Розмір зерен за фракціями, %:	
від 5,5 до 6,5 мм, не більше	5
від 2,8 до 5,5 мм, не менше	90
від 1 до 2,8 мм, не більше	5
менше 1 (пил), не більше	0,6
Насипна маса, кг/дм ³	0,85–0,95
Міцність на скресання, %, не менше	65

Сорбційні показники:	
стехіометрична активність, л/кг	300
статична активність, л/кг	210–215
питома сорбційна ємність до проскоку 1,5% CO_2 , л/кг	125–150

До складу вапняного поглиначу вуглекислого газу, крім основної речовини, входять добавки: гідроксид натрію (4 %) та вода (16–21 %).

Їдкий натрій підвищує динамічну активність поглиначу за малих концентрацій вуглекислого газу в повітрі, яке потрібно очистити, та, будучи сильно гігроскопічною речовиною, підтримує потрібну вологість поглиначу.

Волога, яка знаходиться в хемосорбенті, сприяє проходженню реакції поглинання вуглекислого газу, а збільшення або зменшення вмісту води в поглиначу відносно норми знижує його динамічну активність.

Крім добавок, до вапняного хімпоглиначу входить як технологічна домішка деяка кількість карбонату кальцію $CaCO_3$, який є початковим продуктом під час виробництва гідроксиду кальцію $Ca(OH)_2$. Карбонат кальцію є також кінцевим продуктом реакції поглинання вуглекислого газу, а через це за мірою відпрацювання вапняного хімпоглиначу вміст $CaCO_3$ в ньому збільшується. Максимально припустимий вміст цієї речовини у свіжому поглиначу приймається після перерахунку на масу вуглекислого газу CO_2 , що знаходиться в ньому, по відношенню до загальної маси поглиначу.

На відміну від інших типів хемосорбентів CO_2 , вапняний не втрачає сорбційних якостей після короткочасного перебування на відкритому повітрі. Це дозволило у свій час перейти до використання в регенеративних дихальних апаратах регенеративних патронів, які можна переспоряджати. Внаслідок цього, після відпрацювання регенеративні патрони заповнюються свіжим хемосорбентом безпосередньо в підрозділі.

Вапняний хімпоглинач – досить міцний сорбент у відношенні до скресання та утворення пилу, який у випадку попадання до дихальних шляхів міг би викликати їх подразнення. Під час транспортування споряджених апаратів в регенеративних патронах усе ж таки утворюється незначна кількість пилу, але установка спеціального захисного фільтра після патрона не потрібна. Це пояснюється тим, що повітря, яке виходить з регенеративного патрона, повністю насичене вологою. Через це пил хемосорбенту, який іноді проникає з патрона, змочується та осідає в дихальному мішку.

У процесі поглинання вуглекислого газу вапняний хімпоглинач не змінює кольору та зовнішнього вигляду, не опливає і не спікається. В повністю відпрацьованому хемосорбенті вміст CO_2 збільшується до 25–27%, вміст вологи зменшується до 4–8%, а загальна маса поглиначу збільшується на 6–8% по відношенню до початкової. Повторне використання регенеративного патрона з частково або повністю відпрацьованим вапняним хімпоглиначем забороняється.

Оскільки склад наведеного хемосорбенту обов'язково повинен містити вологу, реакція сорбції CO_2 за його допомогою може відбуватись тільки за позитивної температури. Поглинач, який заморозили, є непридатним до застосування. Через це зберігання готових до застосування регенеративних патронів з вапняними поглиначами за температури нижче 0°C не допускається. Під час експлуатації регенеративних дихальних апаратів з таким хемосорбентом за негативної температури необхідно, щоб до початку роботи температура поглиначу була вище 0°C . У процесі роботи апарата вона підтримується позитивною за рахунок теплоти екзотермічної реакції сорбції вуглекислого газу. Для апаратів з вапняним хімпоглиначем без спеціальних мір захисту регенеративного патрона нижня границя температури навколишнього середовища, з якої дозволяється їх експлуатація з дотриманням особливих

мір обережності, дорівнює -20°C .

В регенеративних дихальних апаратах застосовуються патрони прямооточного типу, в яких газоповітряна суміш рухається в одному напрямку вздовж осі патрона (рис. 7.1а). Такий патрон є простим за своєю конструкцією і створює мінімальний опір потоку газоповітряної суміші. Він застосовується у всіх вітчизняних та більшості закордонних моделей як при круговій, так і при маятниковій схемах циркуляції повітря.

В деяких регенеративних дихальних апаратах, виходячи з конструктивних міркувань або міркувань вибору оптимальної висоти шару поглиначу, застосовують регенеративні патрони з радіальним напрямком потоку (рис. 7.1б).

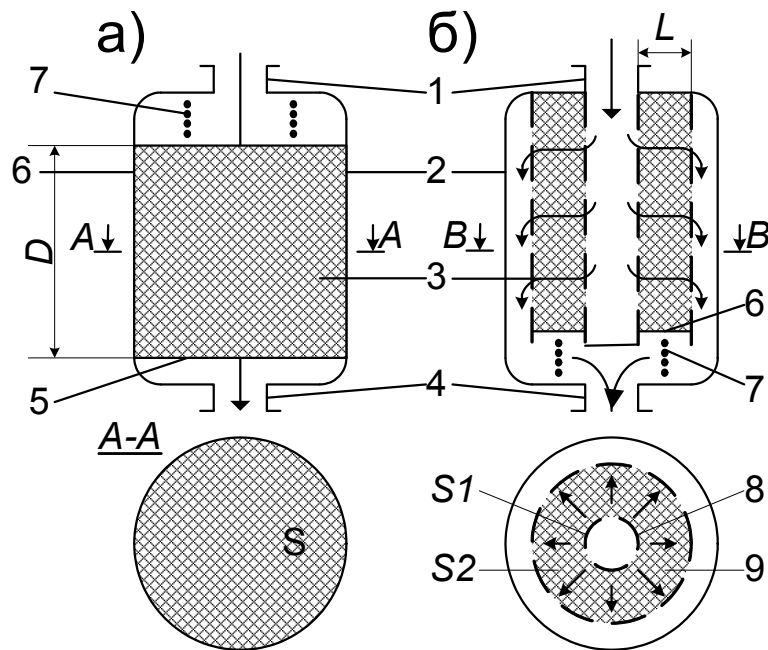


Рисунок 7.1 – Схеми регенеративних патронів:

а – прямооточного; б – з радіальним проходженням потоку повітря:

- 1 – вхідний штуцер; 2 – корпус; 3 – хімпоглинач; 4 – вихідний штуцер;
5 – нерухома перфорована перегородка; 6 – рухлива перегородка; 7 – пружина;
8 і 9 – перфоровані циліндричні перегородки

Такий патрон містить такі ж елементи, що і прямоточний, а поглинач міститься поміж двома перфорованими або сітчатими перегородками циліндричної форми. Поток газоповітряної суміші рухається спочатку вздовж осі патрона, потім повертає на 90^0 у радіальному напрямку, проходить через шар поглиначу, вдруге повертає на 90^0 і направляється до виходу вздовж осі патрона. Такі патрони відрізняються великою поверхнею робочого шару хемосорбенту та малою його довжиною. Через це вони вимагають застосування тільки мілкозернистого поглиначу. Патрон із радіальним напрямком потоку повітря застосовується, наприклад, в апараті з рідким киснем “Аерорлокс”.

Вапняний хімпоглинач має достатньо високу стехіометричну активність – 300 л/кг. Це на 8 % вище, ніж у лужного сорбенту. Статична активність становить близько 70 % від стехіометричної. У зв'язку з більш раннім виникненням проскоку середній за апаратозміну проскок вуглекислого газу в регенеративних патронах з вапняним поглиначем вище, ніж із лужним.

Характер процесу сорбції вуглекислого газу в регенеративному патроні респіратора Р-30 при дихальному режимі № 5 показаний на рис. 7.2.

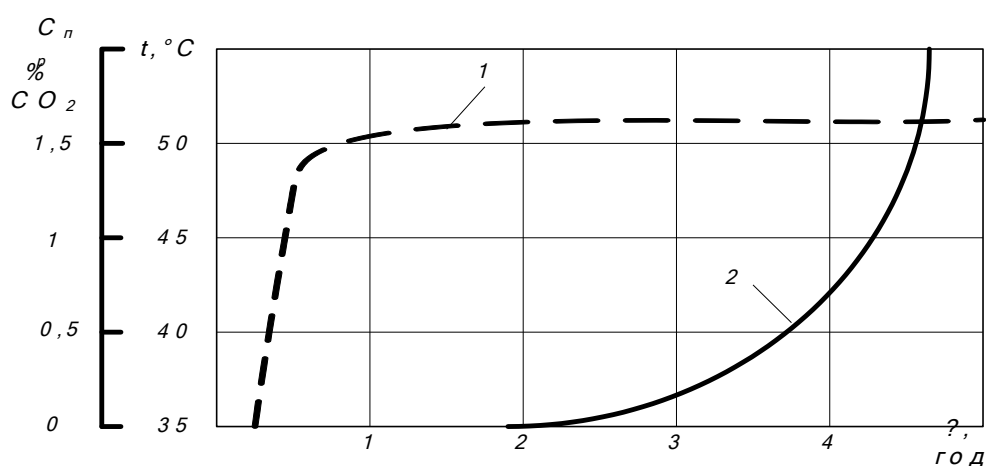


Рисунок 7.2 – Залежності проскакування вуглекислого газу $C_{пр}$ (суцільна лінія) і температури повітря t (пунктирна) від часу роботи регенеративного патрона респіратора Р30

З рис. 7.2 видно, що в респіраторі Р30 проскакування з'являється по витіканню 50–60 % загального часу захисної дії. На рис. 7.2 показано і характер зміни температури повітря, що виходить з регенеративного патрона респіратора Р30; така ж температура (близько 50°C) спостерігається при роботі всіх типів регенеративних патронів із ХПВ і ХПВД.

Температура повітря, яке проходить через наведений регенеративний патрон, протягом 30–40 хвилин збільшується до максимального значення і підтримується на цьому рівні до кінця роботи. Оскільки повітря, яке виходить з патрона, повністю насичене вологою, його питома ентальпія є дуже високою і становить близько 260 кДж/кг протягом більшої частини апаратозміни. Через це повітря, яке виходить з патрона, який містить вапняний хімпоглинач, у повітропровідну систему апарата, хоча й більш нагріте, але сухе повітря після лужного патрона.

Характерною рисою вапняного сорбенту, в порівнянні з лужним, є рання поява проскакування і повільне його наростання. Так, у респіраторі Р-30 проскакування CO_2 збільшується від 0 до 1 % (граничної регламентованої величини наприкінці гарантованого часу захисної дії) за 135 хв., а в респіраторі з лужним сорбентом фірми «Дрегерверк» – за 42 хв. Повільний характер наростання проскакування спостерігається також при роботі дрібнозернистого вапняного поглинача ХПВД.

Слід зазначити, що у зв'язку з більш ранньою появою проскакування середній за апаратозміну проскок CO_2 у регенеративних патронах з вапняним сорбентом вище, ніж з лужним.

Повітря, що виходить з патрона з вапняним сорбентом, складніше піддається кондиціонуванню в повітропровідній системі респіратора, ніж сухе і більш нагріте після лужного патрона.

Як зазначено вище, питома сорбційна ємність хемосорбенту залежить від характеристик самого поглинача, патрона і навантаження. На рис. 7.3

показано залежність питомої сорбційної ємності вапняного поглинача від розміру гранул, геометричної характеристики патрона (довжини шару поглинача і площі поперечного перерізу) і об'ємної швидкості минаючої через патрон газоповітряної суміші, що містить 4% CO₂. По осі абсцис відкладені значення питомої об'ємної швидкості пульсуючого потоку, тобто припадає на 1 см³ площі поперечного перерізу патрона.

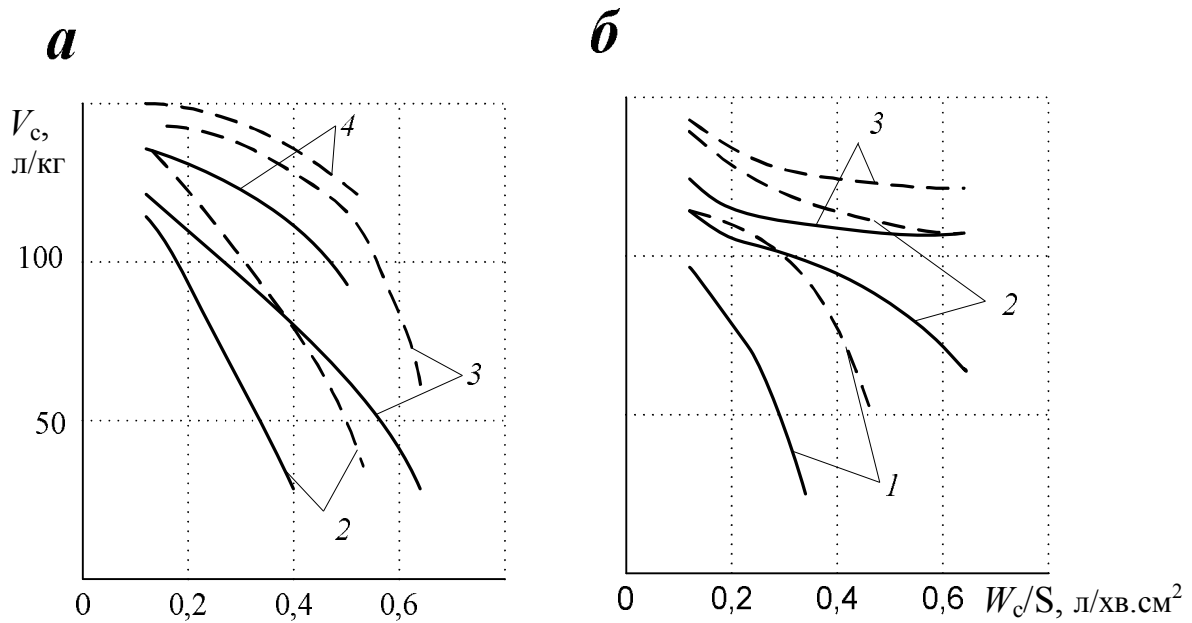


Рисунок 7.3 – Залежність питомої сорбційної ємності вапняного поглинача V_c від питомої об'ємної швидкості потоку повітря $W_{л}/S$ і довжини шаруючи поглинача L при роботі до проскакування CO₂, рівного 1% (суцільна лінія) і 2% (пунктирна лінія): а і б – відповідно для ХПВ і ХПВД; 1, 2, 3 і 4 – при L , режимі відповідно 5, 10, 15 і 20 см

Фізичний зміст цього показника може бути інтерпретований інакше: це середня лінійна швидкість потоку повітря в патроні. Ординати кривих являють собою питому сорбційну ємність поглинача V_c , отриману в експериментах, для довжини шару 5, 10, 15 і 20 см при роботі до проскакування CO₂, рівного 1 і 2 %.

Як видно з рисунка, зменшення розміру гранул приводить до збільшення питомої сорбційної ємності поглинача, а зменшення довжини

шару, так само як і збільшення питомої об'ємної швидкості потоку газоповітряної суміші, сприяє її зниженню.

Звідси випливає, що зі зменшенням маси поглинача в патроні зменшується і його питома сорбційна ємність, і для кожного значення маси сорбенту при заданому дихальному режимі існує своя, гранична її величина. Дійсно, зменшення маси поглинача приводить до зменшення довжини його чи шару площі поперечного перерізу чи патрона з обох параметрів одночасно, а зменшення кожного з них однонаправлено знижує питому сорбційну ємність.

Графіки (рис. 7.3) можна застосовувати для попереднього вибору параметрів регенеративних патронів при їхній розробці. Зіставлення показників цих графіків і сорбційних характеристик реального регенеративного патрона респіратору РЗО показують, що параметри останніх є близькими до оптимального. Максимальне значення питомої сорбційної ємності (рис. 7.3) становить 150 л/кг. Воно досягається за довжини шару ХПВ, рівної 20 см, при питомій об'ємній швидкості потоку повітря близько $0,15 \text{ л/(хв./см}^2\text{)}$ і роботі до проскакування–2%. Аналогічна величина питомої сорбційної ємності була одержана при випробуванні регенеративних патронів респіраторів РЗО при дихальному режимі № 2. Її питому величину, що становить близько 70% від статичної активності, слід вважати граничною для стандартного ХПВ.

Для респіраторів із часом захисної дії менше 2 годин застосування стандартного ХПВ недоцільне через значне зменшення його питомої сорбційної ємності. Замість нього необхідно застосовувати дрібнозернистий поглинач, наприклад ХПВД. У цьому випадку питома сорбційна ємність поглинача при роботі в респіраторі з часом захисної дії 1 година становить 110–120 л/кг, а маса сорбенту в патроні – 0,6 кг.

Дрібнозернистий поглинач може застосовуватися й у великих регенеративних патронах при роботі респіраторів протягом 4 годин. При

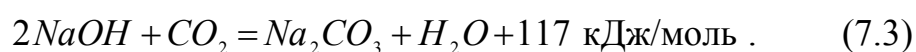
цьому щоб уникнути одержання високого опору видиху довжина шару поглинача повинна бути зменшена, а площа поперечного перерізу – збільшена. Так, наприклад, у респіраторі РЗО довжина шару поглинача прийнята 12 см, завдяки чому зменшено опір патрона потоку повітря і поліпшено компонування повітропровідної системи.

Особливостями вапняного хімпоглиначу є відносні недифіцитність сировини, з якої виготовляють поглинач, і низька вартість самого хемосорбенту, що є на порядок нижчою, ніж у лужного сорбенту.

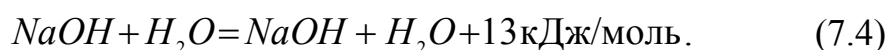
Вапняний хемосорбент випускається у всіх розвинутих країнах. Він застосовується у Великобританії, Франції, США, а також в Германії в апаратах із часом захисної дії 2 години та менше.

7.4. Лужний сорбент

Серед гідратів окису лужних металів застосування на практиці для очистки повітря від вуглекислого газу в регенеративних дихальних апаратах отримав їдкий натрій $NaOH$. Це хімічне сполучення є основою натрієвого хемосорбенту, який і називають лужним. Реакція поглинання вуглекислого газу гідрооксидом натрію має вид:



Оскільки гідрат окису натрію – високогігроскопична речовина, одночасно йде реакція поглинання тієї молекули води, що утворилась за (7.3):



Температура у зоні реакції регенеративного патрона за нормальної температури навколишнього середовища підвищується до 100–130⁰С.

Стехіометрична активність за (7.3) становить 278 л/кг, а за (7.3) та (7.4) в сумі – 185 л/кг. Але, оскільки одночасно з (7.4) відбувається сорбція їдким натрієм і вологою, що знаходиться у повітрі, яке видихає газодимозахисник, реальна величина стехіометрії перебуває між двома наведеними показниками.

Під час реакції поглинання вуглекислого газу та вологи гранули натрієвого поглиначу опливають, з них стікає луг. Через це хемосорбент розміщують у регенеративному патроні у вічках дротяних сіток. Конструкція лужного регенеративного патрона є значно складнішою, ніж у вапняного. Споряджається він на заводі в умовах, які виключають попадання на поглинач вологи, у всякому разі з атмосферного повітря, та потрапляє до споживачів з герметичними та опломбованими заглушками. Патрон – одноразової дії. Після повного або часткового відпрацювання замінюється новим.

Натрієвий сорбент являє собою гранули неправильної форми світло-сірого кольору з блакитним чи коричневим відтінком або сірвато-коричневого кольору. Основний робочий стан у регенеративних дихальних апаратах усіх типів лужних патронів – горизонтальний. В результаті цього виключається можливість попадання деякої кількості рідкого лугу до зон вхідного або вихідного штуцерів. Під час роботи патрона зерна сорбенту опливають, можуть злипатися один з одним та створювати конгломерати. У зв'язку з цим підвищується опір патрона потоку повітря. Робота патронів із тривалими перервами не допускається через кристалізацію відпрацьованого поглиначу при охолодженні патрона.

Основна перевага лужного сорбенту перед вапняним полягає у створенні значно кращих температуро-вологових параметрів повітря, яке виходить з регенеративного патрона. Оскільки їдкий натрій є добрим осушувачем, то завдяки цьому в патроні відбувається осушення видихуваного повітря. Цей процес дуже інтенсивно йде з початку роботи в

апараті. У міру відпрацювання сорбенту осушувальний ефект поступово знижується.

Підсушене та гаряче повітря легко охолоджується при проходженні через елемент повітропровідної системи. Через це осушувальний ефект натрієвого поглиначу сприяє формуванню в апараті з лужним сорбентом більш сприятливих мікрокліматичних умов дихання, ніж в апараті з вапняним. Регенеративні патрони з лужним поглиначем менш чутливі до зниження температури навколишнього середовища, ніж патрони з вапняним поглиначем. В умовах негативної температури в меншій мірі знижують свою сорбційну здатність.

7.5. Регенерація повітря в апаратах на хімічно зв'язаному кисню

7.5.1. Ергономічні основи вибору речовин, які містять хімічно зв'язаний кисень

Визначення придатності препарату, що містить хімічно зв'язаний кисень, для використання в ізолюючих апаратах базується на ряді показників, основним з яких є *коефіцієнт регенерації*:

$$K_p = \frac{V_{O_2}}{V_{CO_2}}, \quad (7.5)$$

де V_{O_2} – об'єм кисню, що виділяє препарат, внаслідок реакції поглинання вуглекислого газу;

V_{CO_2} – об'єм поглиненого препаратом вуглекислого газу.

Коефіцієнт регенерації K_p показує можливість препарату з виділення кисню під час поглинання визначеної кількості вуглекислого газу. При

цьому, оскільки дихальний коефіцієнт $K_{\text{дих}}$ (1.1) (співвідношення між об'ємами виділеного під час дихання вуглекислого газу та поглиненого людиною кисню) за різних навантажень не є постійним, для забезпечення процесу легеневої вентиляції необхідно, щоб коефіцієнт K_p регенерації розраховувався за мінімальною величиною дихального коефіцієнта $K_{\text{дих}}$, яка в середньому дорівнює 80%. Таким чином, для забезпечення нормального газообміну можна використовувати тільки такі препарати, що регенерують повітря, які здатні при поглинанні 0,8 моля вуглекислого газу виділяти не менше 1 моля кисню. Тобто коефіцієнт регенерації препарату, що містить хімічно зв'язаний кисень, повинен бути:

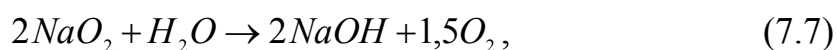
$$K_p > \frac{1}{0,8} = 1,25. \quad (7.6)$$

До таких препаратів відносяться надперекиси лужних металів, які мають $K_p = 1,5$. До речі, як було відмічено у першому розділі, $K_{\text{дих min}} \approx 0,7$, але і в цьому випадку $K_p \approx 1,43 < 1,5$.

Найбільш поширеними в якості препаратів, що містять хімічно зв'язаний кисень, стали надперекиси калію та натрію, які, окрім високого коефіцієнта регенерації, мають також інші необхідні для практичного застосування фізико-хімічні, експлуатаційні та економічні показники. Термін “надперекиси” введено до наукової номенклатури у 1948 році. Він вказує на наявність іон-радикалу. На відміну від відповідних перекисів, які не мають неспарених електронів, надперекиси мають непарну кількість електронів, що підтверджує їх радикальну структуру.

7.5.2. Аналіз роботи регенеративного патрона на основі надперекису натрію

Надперекиси лужних металів активно взаємодіють із вологою та вуглекислим газом повітря. При цьому створюються луки та відповідні карбонати. Вони легко окислюють органічні речовини, можуть викликати їх запалювання та бурхливе горіння. Усі надперекисні (перекисні) сполучення характеризуються наявністю так званого “активного” кисню, який може виділятися в молекулярному виді під час реакції взаємодії надперекису з водою або вуглекислим газом. Наприклад:



$$O_{2(\text{акт})} = \frac{1,5 \cdot 32 \cdot 100}{2 \cdot 55} = 43,6\%, \quad (7.8)$$

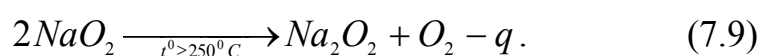
де 1,5 – кількість молів кисню, який виділяється при реакції (7.7);

32 – молекулярна вага кисню;

2 – кількість молів надперекису, що бере участь у реакції;

55 – молекулярна вага надперекису.

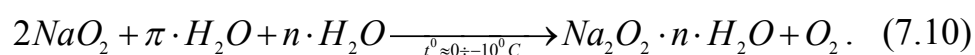
Технічний надперекис натрію (новооксид) являє собою порошок жовтуватого кольору, який містить до 90% чистого надперекису натрію. При зберіганні в герметично закритій тарі він стійкий до 65⁰С. Помітний термічний розпад надперекису починається при 100–120⁰С і повністю відбувається при 250⁰ С з утворенням перекису натрію та виділенням надперекисного кисню:



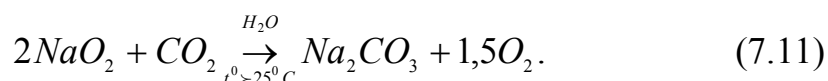
У свою чергу, розпад перекису натрію протікає за температури вище

400⁰С і за температури 540⁰ С повністю закінчується з утворенням окису натрію. При взаємодії з водою при 15–20⁰ С надперекис натрію повністю виділяє свій “активний” кисень. Теплота реакції становить 15,9±0,7 ккал/моль.

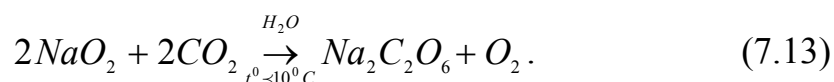
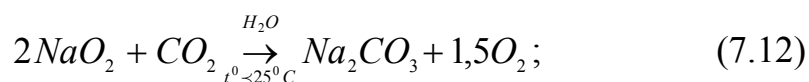
Взаємодія з водяною парою за кімнатної температури також супроводжується виділенням усього “активного” кисню та утворенням моногідрату гідроокису натрію. За низьких температур (0 – -10⁰С) взаємодія з парою води відбувається з виділенням надперекисного кисню та утворенням кристалогідратів перекису натрію:



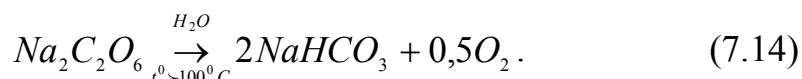
Взаємодія надперекису натрію із сухим вуглекислим газом не спостерігається до 100⁰С. Наявність водяної пари вже при 25⁰С приводить до утворення вуглекислого натрію та виділенню всього “активного” кисню:



За температури нижче 10⁰С надперекис натрію реагує з вуглекислим газом тільки за наявності пари води з виділенням надперекисного кисню та утворенням пероксидікарбонату натрію



Але при подальшому нагріванні регенеративного продукту вище 100⁰С пероксидікарбонат натрію за наявності вологи розкладається з виділенням перекисного кисню



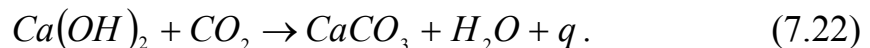
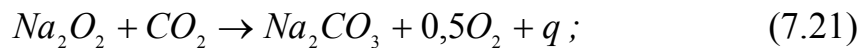
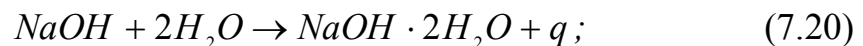
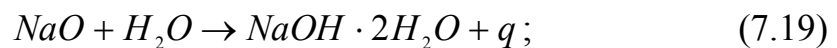
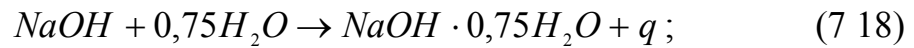
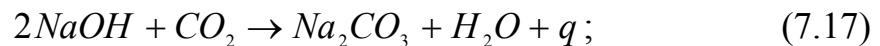
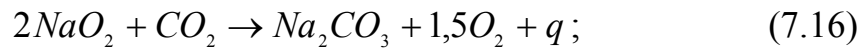
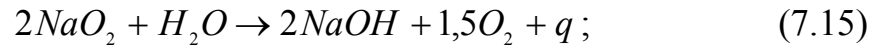
Надперекис натрію погано пресується у великі, міцні блоки або гранули. Для усунення цього недоліку до складу регенеративного препарату додають гідрат окису кальцію. Реальний препарат (табл. 7.2), яким комплектують регенеративні патрони апаратів на хімічно зв'язаному кисні, виготовляють шляхом змішування 85% технічного надперекису натрію та 15% гідроокису кальцію. Ця суміш пресується, а отримані куски роздрібнюються та розсіваються на фракції. Приблизний склад наведено у таблиці 7.2.

Гідроокис кальцію, який введено до препарату, покращує також і хемосорбційні властивості препарату до вуглекислого газу, особливо за понижених температур. Крім того, введення гідроокису кальцію зменшує процес розпливання гранул під впливом вологи та їх спікання і утворення конгломератів за високої температури.

Таблиця 7.2 – Приблизний склад регенеративного препарату

Найменування продуктів	Хімічна формула	Склад, %
Надперекис натрію	<i>NaO2</i>	70,6
Перекис натрію	<i>Na2O2</i>	11,0
Гідроокис натрію	<i>NaOH</i>	3,0
Карбонат натрію	<i>Na2CO3</i>	0,4
Гідроокис кальцію	<i>Ca(OH)2</i>	15,0

Основні реакції, що відбуваються у процесі роботи реального препарату в ізолюючому апараті на хімічно зв'язаному кисні, мають вид:



Ці реакції протікають з досить високою швидкістю, коли температура середовища вище 20⁰С. За температури нижче 20⁰С вони відбуваються повільно. Особливо це помітно, враховуючи екзотермічний характер реакцій (7.14) – (7.21) в початковий (пусковий) період. (До речі, перед закінченням часу захисної дії робота надперекисних сполучень лужних металів також не повністю підпадає під наведені рівняння).

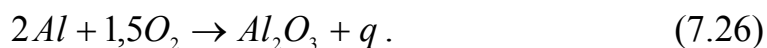
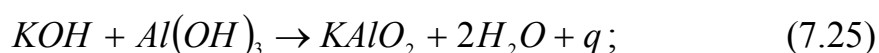
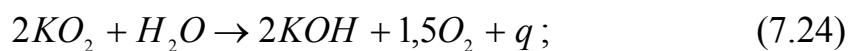
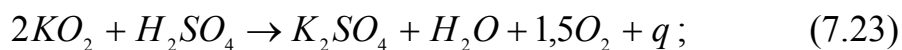
7.5.3. Взаємозв'язок характеристик людини та властивостей реального апарата на хімічно зв'язаному кисню

В пусковий період у холодному продукті на базі надперекису відбувається утворення бікарбонату лужного металу, що призводить до зменшення коефіцієнта регенерації. Тривалість роботи продукту в такому режимі тим більше, чим нижче температура навколишнього середовища та менше величина дихального навантаження.

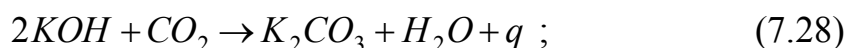
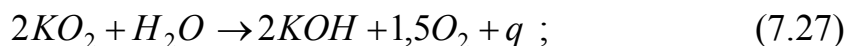
Через це для усунення небезпеки, пов'язаної з нестачею кисню в повітрі, яке поступає для дихання газодимозахиснику на початковому етапі роботи регенеративного дихального апарата, необхідно заповнити дихальний мішок киснем від стороннього джерела. Кажучи взагалі, за нормальної температури навколишнього середовища регенеративний патрон з надперекисом лужного металу можливо “роздихати” і без пускового пристрою, але це вимагає від газодимозахисника спеціальних навичок. Тому до складу регенеративного патрона входить спеціальний пусковий пристрій. Його головне призначення – забезпечити розігрів регенеративного препарату під час запуску подачі кисню. В ньому кисень виділяється в результаті хімічної реакції розкладу активної маси. Тепло та волога, які виділяються при цій реакції, сприяють нагріву продукту, який містить хімічно зв'язаний кисень, і, відповідно, активізації його роботи.

Для прикладу розглянемо роботу пускового пристрою ізолюючих протигазів на хімічно зв'язаному кисні ИП-4, ИП-5, ИП-46 та інших, які застосовуються у збройних силах. В них виділення кисню з пускового брикета відбувається протягом однієї хвилини за кімнатної температури та 80 секунд – за температури – 30 °С. Запуск пускового брикету здійснюється 38%-ним водним розчином сірчаної кислоти, який не замерзає до температури – 50 °С. Основою пускового пристрою служить пусковий брикет, який містить 61% надперекису калію, 36% гідрату окису

алюмінію та 3% алюмінієвої пудри. Основні реакції, які відбуваються в пусковому брикеті, мають наступний вид:



Поряд з наведеними складами регенеративних препаратів та пускових брикетів можуть використовуватись й інші. Так, наприклад, основні реакції, які відбуваються на борту космічних кораблів Російської Федерації, з метою регенерації повітря в кабіні, мають вид:



Здебільшого надперекиси калію використовуються і в конструкціях шахтних саморятівників. Таким чином видно, що, оскільки тільки надперекиси лужних металів мають властивості, які в основному задовольняють вимогам до вмісту “активного” кисню, головні зусилля направлені на створення рецептур на їх основі. Вдосконалення регенеруючих препаратів на сучасному етапі проводиться, головним

чином, в напрямках відшукування препаратів, які мають підвищену термостабільність, зменшену вологоємність, підвищену пористість і стійкість до спікання та ін.

Оскільки продукт, який містить хімічно зв'язаний кисень, дуже активно поглинає вологу та вуглекислий газ із навколишнього повітря, спорядження ним регенеративних патронів відбувається тільки в заводських умовах. Патрони з надперекисами лужних металів – одноразового використання. Після повного або часткового відпрацювання їх знімають з апарата та, у зв'язку з пожежонебезпечністю надперекисів лужних металів, знищують (спалюють або закопують), дотримуючись вимог спеціальної інструкції. У зв'язку з підвищеною пожежонебезпечністю, необхідно дотримуватись певних правил. Так, не допускається попадання у продукт органічних речовин, наприклад, масел.

Регенеративні патрони, які містять хімічно зв'язаний кисень, можуть бути прямоточного типу (рис. 7.1а) або з радіальним напрямком руху очищеного повітря (рис. 7.1б). Але конструкція внутрішньої частини їх принципово відрізняється від патронів із вапняним сорбентом. Для виключення спікання надперекисів лужних металів, яке відбувається в результаті їх нагріву та опливання гранул і призводить до суттєвого збільшення опору дихання, безпосередньо в патроні у шарі продукту розміщують металевий теплорозподільник (-ки).

В регенеративних дихальних препаратах на хімічно зв'язаному кисні застосовують як кругову, так і маятникову схему циркуляції повітря. Як відмічалось раніше (див. розділ 3), особливостями маяткової схеми є додаткове поглинання вуглекислого газу під час вторинного проходу повітря через регенеративний патрон та збільшення шкідливого простору повітропровідної системи у міру відпрацювання верхнього шару сорбенту. Ці два фактори мають різнонаправлений вплив на вміст вуглекислого газу у вдихуваному повітрі: перший сприяє зниженню вмісту CO_2 , а другий –

його підвищенню. В результаті експериментальних досліджень винайшли, що якщо маса продукту в регенеративному патроні менше 1 кг, то маятникова схема циркуляції повітря забезпечує менший вміст вуглекислого газу на вдиху в порівнянні з круговою схемою.

Питома сорбційна ємність за вуглекислим газом для всіх типів продуктів на базі надперекисів лужних металів нижче, ніж у вапняних та лужних хемосорбентів. Та співставлення цих величин неправомірно, оскільки використання надперекисів лужних металів забезпечує повну регенерацію видихуваного повітря. Незважаючи на вищу вартість продукту, який містить хімічно зв'язаний кисень, ніж у лужного і, тим більше, вапняного поглиначу CO_2 , наведені апарати в перспективі можуть широко застосовуватися в оперативно-рятувальних підрозділах, особливо при виконанні робіт легких та середньої ваги.

Контрольні запитання та завдання до глави 7

1. Які види хемосорбентів застосовують у РДА зі стиснутим киснем ?
2. Де відбувається перша фаза регенерації повітря, яке видихає газодимозахисник?
3. Що таке хемосорбція?
4. Які періоди виділяють, під час роботи сорбенту в поглинаючому патроні?
5. Дайте визначення стехіометричної активності.
6. Дайте визначення статичної активності.
7. Дайте визначення динамічної активності.
8. Що таке питома сорбційна ємність?
9. Які основні технічні вимоги до хемосорбентів вуглекислого газу?
10. Який хемосорбент вуглекислого газу використовується в нашій країні?
11. Що являє собою натрієвий сорбент?
12. Що показує коефіцієнт регенерації K_p ?

8. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

8.1. Порядок контролю КЗІЗ

Індивідуальний захист кожного рятувальника повинен забезпечити виконання функціональних обов'язків при виконанні робіт в умовах можливих екстремальних ситуацій. Внаслідок чого при визначенні вимог до комплексу засобів індивідуального захисту, який забезпечить можливість їх використання за призначенням, виходять з того, що вони ґрунтуються на характеристиках небезпечних і шкідливих факторів різноманітних надзвичайних ситуацій.

Ефективні розробка, виробництво та експлуатація КЗІЗ вимагають об'єктивної оцінки їх властивостей. Це, у свою чергу, вимагає широкого застосування науково обґрунтованих методів та приладів, які забезпечують випробування конкретного КЗІЗ. При цьому експериментальне визначення характеристик властивостей засобів індивідуального захисту може проводитись шляхом використання вимірювань, діагностування, органолептичних методів, реєстрації певних подій (наприклад, відмови, пошкодження) та ін. Характеристики властивостей при випробуваннях можуть оцінюватися, якщо завданням випробувань є отримання кількісних або якісних оцінок, а можуть контролюватися, якщо завданням випробувань є тільки встановлення відповідності характеристик заданим вимогам. У цьому випадку випробування зводяться до контролю. Тому ряд видів випробувань є контрольними, в процесі яких вирішується завдання контролю.

Найважливішою ознакою будь-яких випробувань є прийняття на основі їх результатів певних рішень.

Як правило, для контролю якості КЗІЗ проводять наступні випробування:

- приймальні;
- кваліфікаційні;
- приймальноздавальні;
- періодичні
- сертифікаційні.

Підприємства-виробники можуть проводити й інші види контрольних випробувань, програми яких узгоджуються із замовниками.

Важливою ознакою випробувань є завдання певних умов випробувань (реальних або модульованих), під якими розуміється сукупність впливів на КЗІЗ і режимів його функціонування. Визначення характеристик об'єкта при випробуваннях може вироблятися як при його функціонуванні, так і за відсутності функціонування, за наявності впливів, до або після їх застосування.

З тим, щоб при створенні КЗІЗ вимоги різних країн були гармонізовані, наприкінці 70-х років в Європі був створений комітет, за результатами діяльності якого було прийнято більше сорока стандартів, в яких уніфіковані не тільки вимоги, але й методи оцінки показників якості КЗІЗ.

Контроль якості засобів індивідуального захисту складається з наступних етапів:

- аналіз нормативно-технічної документації, перевірка зовнішнього вигляду, комплектації, маркування;
- випробування з використанням приладів та установок;
- випробування на стійкість до зовнішніх впливів;
- дослідження на стенд-імітаторі зовнішнього дихання людини;
- лабораторні дослідження на людях;
- полігонні випробування;
- підконтрольна експлуатація.

Загальні технічні вимоги, методи випробувань та їх обсяг наводяться для кожного об'єкта дослідження у відповідних стандартах. Деякі з основних міжнародних стандартів стосовно КЗІЗ наведені в Додатку С.

Поряд з цим необхідно мати на увазі, що одним з важливих етапів контролю за якістю засобів індивідуального захисту є етап безпосередньої експлуатації КЗІЗ в оперативно-рятувальних підрозділах, коли у процесі повсякденної діяльності збирається, обліковується та здійснюється обробка особливостей приведення до готовності, підтримання в боездатному стані та застосування засобів індивідуального захисту. І тут головне місце мають результати кваліфікованого аналізу роботи в КЗІЗ, а також підготовки рятувальників до роботи в екстремальних умовах надзвичайної ситуації.

Зрозуміло, що з часом, враховуючи досягнення науки та техніки, а також потреби практики, наведені в нормативних документах вимоги, методики, обладнання змінюються, проте підхід до цього процесу, який наведено нижче, залишається незмінним.

8.2. Загальні вимоги до засобів індивідуального захисту

Незалежно від призначення і конструктивних особливостей КЗІЗ повинні відповідати вимогам, які висуваються до показників їхньої якості. Ці показники поділяють на такі основні групи:

- показники захисної ефективності, які характеризують ефективність того, наскільки ІА є герметичним (див. розд. 5);
- показники надійності, що характеризують час захисної дії ІА, які застосовуються, а також збереження захисних властивостей у процесі експлуатації, транспортування та збереження. Враховуючи те, що основним завданням ІА є забезпечення безпечної роботи газодимозахисників в непридатному для дихання середовищі, саме

кількісні характеристики герметичності визначають вимоги до показників надійності;

- ергономічні показники, що відбивають можливий вплив ІА від небезпечних чинників навколишнього середовища, на здоров'я, функціональний стан і працездатність людини. При цьому сам апарат створюється, в першу чергу, для захисту газодимозахисника від навколишнього середовища;

- показники технічної досконалості ізолюючого апарата, який відповідає вище вказаним характеристикам, що включають показники естетичного виконання, стандартизації й уніфікації окремих вузлів та деталей, економічності, технологічності, а також вимоги до конструкції та ін.

Вказані вимоги регламентуються у відповідних стандартах або інших нормативних документах. Необхідно підкреслити, що дотримання вимог діючих стандартів повинно передбачатись вже на стадії розробки та постановки на виробництво нових засобів індивідуального захисту. Крім цього, загальні технічні вимоги, як правило, визначають вимоги до складу виробу.

Показники захисної ефективності та надійності фактично є вимогами до показників, що характеризують застосування за призначенням, а також умови, за яких засоби індивідуального захисту забезпечують захист людини.

Так, час захисної дії сучасних регенеративних дихальних апаратів (так званий умовний час захисної дії) для пожежних повинен складати не менше 4 годин, а апаратів на стисненому повітрі – не менше 1 години. При цьому ізолюючі апарати повинні бути працездатними в режимах дихання, які характеризують виконання навантажень: від відносного спокою (легенева вентиляція 12,5 л/хв.) до дуже важкої роботи (легенева вентиляція 85 л/хв.) за температури навколишнього середовища від мінус

40 до 60°C. Крім цього від них вимагається збереження працездатності після перебування в середовищі з температурою 200°C протягом 60 с.

Важливим моментом є нормування фактичного часу захисної дії залежно від температури навколишнього середовища та ступеня важкості роботи. Наприклад, за температури (60±2)°C та при виконанні роботи середнього ступеня важкості час захисної дії ізолюючого апарата повинен бути не менше 25% від його умовного часу захисної дії.

Аналогічна ситуація має місце і для ізолюючих костюмів. Так, залежно від умов сучасний спеціальний захисний одяг ізолюючого типу поділяється на два види:

перший – без забезпечення теплового захисту (призначений для роботи за температури навколишнього середовища -40 – 40°C (при цьому час роботи за завантаження 400 Вт повинен становити не менше 30 хвилин));

другий – із забезпеченням теплового захисту (при цьому час роботи за температури навколишнього середовища 40 – 100°C повинен становити не менше 20 хвилин, а за температури 100 – 150°C – не менше 3 хвилин).

Особливо для ізолюючих костюмів дуже важливими є спеціальні вимоги. Так, КЗІЗ, який передбачається використовувати під час гасіння пожеж на небезпечних хімічних об'єктах, повинен забезпечувати захист органів дихання, очей, слизових оболонок та шкіряних покривів від попадання в організм газів, парів, аерозолів та пилу фізіологічно активних речовин. Наприклад, захисні властивості матеріалу КЗІЗ повинні, наприклад, забезпечувати 90 хвилин контакту із хлором, який має масову концентрацію 70 мг/л, за температури навколишнього середовища від мінус 40 до 40°C (30 хвилин за температури від 40 до 100°C та 5 хвилин – за температури від 100 до 150°C). При цьому фізико-хімічна стійкість матеріалів, пакетів матеріалів, складових частин засобів індивідуального

захисту (здатність матеріалу (виробу) зберігати свої вихідні захисні та фізико-механічні якості після впливу шкідливих речовин протягом визначеного часу) при контакті матеріалу з агресивним середовищем і температурі від мінус 40 до 40°C повинна бути не менше однієї години, за температури від 40 до 100°C – не менше 15 хвилин, а за температури від 100 до 150°C – не менше 15 хвилин,

КЗІЗ, який використовується для ліквідації НС з викидами радіоактивних речовин, повинен забезпечувати захист від:

- попадання до організму радіоактивних газів та аерозолів та накопичення радіоактивних ізотопів у внутрішніх органах;
- зовнішнього бета-випромінювання;
- пилу;
- короткочасної дії перегрітого пару (для спеціального захисного одягу, який використовується під час гасіння пожеж на АЕС).

При цьому, наприклад, час перебування в зоні радіації (при потужності дози захисту: за рентгенівським та гамма-випромінюванням до $2,8 \cdot 10^{-4}$ Гр/с і бета-випромінюванням до $11,2 \cdot 10^{-4}$ Гр/с) повинен бути не більше 20 хвилин, а гранична доза на захищений кістковий мозок за таких же умов не більше 0,25 Грей. Коефіцієнт ослаблення зовнішнього опромінювання не менше 80 для бета-випромінювання та не менше 2 – для гамма-випромінювання.

Окремо можна виділити вимоги щодо стійкості до механічних впливів. Так, наприклад, ізолюючі апарати повинні зберігати працездатність після транспортної тряски з перевантаженням 3 g (де g – прискорення вільного падіння) за частоти від 2 до 3 Гц як при транспортуванні у транспортній упаковці, так і під час транспортування до місця застосування. Або, він повинен зберігати працездатність після впливу 1000 ударів з частотою 50хв^{-1} , тривалістю 5 мс і максимальним

прискоренням 100 м/с^2 . Скло лицевої частини повинно витримувати удар сталюого шару масою $150 \pm 2 \text{ г}$ з висоти $1,5 \pm 0,01 \text{ м}$.

Важливими є вимоги щодо збереження працездатності після впливу кліматичних факторів. Так, лицева частина повинна зберігати працездатність після впливу:

- температури $70 \pm 3^\circ\text{C}$ протягом 24 годин;
- температури мінус $60 \pm 3^\circ\text{C}$ протягом 4 годин;
- температури $35 \pm 2^\circ\text{C}$ за відносної вологості $90 \pm 3 \%$ протягом 72 годин.

Враховуючи те, що КЗІЗ може застосовуватись під час гасіння пожеж, у відповідних стандартах є спеціальні вимоги до впливу теплового потоку та відкритого полум'я. Наприклад, сучасна лицева частина повинна витримувати вплив теплового потоку щільністю $8,5 \pm 0,5 \text{ кВт/м}^2$ на протязі 20 хвилин, і вплив відкритого полум'я з температурою $800 \pm 50^\circ\text{C}$ протягом $5 \pm 2 \text{ с}$. Зрозуміло, що для ізолюючих костюмів ці цифри дещо міняються. Так, спеціальний захисний одяг ізолюючого типу другого виду, який використовується для гасіння пожеж в умовах викиду НХР, повинен мати стійкість до впливу відкритого полум'я не менше 30 с.

Оскільки засоби індивідуального захисту можуть знаходитись як у стані очікування, так і у стані застосування, окремо визначають відповідні вимоги до їх надійності. Так, вірогідність збереження справності ізолюючого апарату за час знаходження його в стані очікування до застосування протягом 30 суток повинна бути не менше 0,98. Це, до речі, є основою для нормативної вимоги щодо виконання другої перевірки не рідше одного разу на місяць. В той же час, вірогідність безвідмовної роботи за час захисної дії (тобто, під час безпосередньої роботи в апараті) повинна бути суттєво більшою і на сьогоднішній день складає не менше 0,999. Середній час служби повинен бути не менше 10 років.

Серед ергономічних показників найбільш важливими є вимоги до

маси засобів індивідуального захисту та до умов дихання. Згідно до діючих на сьогодні стандартів маса спорядженого регенеративного дихального апарата з часом захисної дії 4 години повинна бути не більше 14,0 кг, а апарата на стисненому повітрі – не більше 17,0 кг. Стосовно ізолюючих костюмів, які використовуються при виконанні робіт, що пов'язані з гасінням пожеж та ліквідацією аварій на АЕС, їх маса повинна бути не більше $22,5 \pm 0,5$ кг, для інших ізолюючих костюмів – не більше 11 кг (без дихального апарата).

Щодо умов дихання, то головною вимогою є наближеність газового складу повітря, яке вдихає газодимозахисник, до його складу в атмосферному повітрі (див. табл. 1.2). Через це об'ємна доля кисню в газовій суміші, яка поступає на вдих, повинна бути не менше 21 %, а об'ємна доля двоокису вуглецю – не більше 1,5 %. Об'ємна доля двоокису вуглецю в дихальному мішку регенеративного дихального апарата протягом умовного часу захисної дії повинна бути не більше 1,0 %, при цьому середнє значення за весь час роботи не повинно перевищувати 0,3 %.

Температура повітря, яке вдихає газодимозахисник, за температури навколишнього середовища 40°C під час виконання роботи середнього ступеня важкості (легенева вентиляція 30 л/хв.) протягом 30 хвилин від початку роботи повинна бути не більше 37,0°C. Для ізолюючих костюмів за весь час їх захисної дії локальна температура під костюмного простору не повинна перевищувати 50°C. Крім цього, для оцінки ергономічних і фізіолого-гігієнічних властивостей ізолюючих костюмів використовують значення показників стану людини. Наприклад, частота серцевих скорочень при виконанні важкої роботи (енерговитрати 290–350 Вт) не повинна перевищувати 170 хв.^{-1} .

Враховуючи те, як опір дихання в ізолюючих апаратах впливає на герметичність (див. розд. 5), суворо нормуються вимоги до опору диханню

на вдиху та видиху (див. табл. 8.1).

Таблиця 8.1 – Вимоги до опору диханню

Легенева вентиляція, л/хв.	Опір диханню, Па, не більше	
	на вдиху	на видиху
12,5	- 100	300
30	- 300	300
60	- 600	750
85	- 900	1000

Основні вимоги до конструкції КЗІЗ також пов'язані з його ергономічними характеристиками. Так, форма та габаритні розміри повинні відповідати будові людини, поєднуватися зі спорядженням рятувальника, забезпечувати зручність при виконанні всіх видів робіт (у тому числі і при пересуванні через вузькі люки та лази діаметром не менше 800 мм, пересування повзучи та на четвереньках та ін.). Наведений центр маси повинен знаходитись не далі ніж в 30 мм від сагітальної площини людини.

Підвісна та амортизуючі системи повинні бути виконані таким чином, щоб засіб індивідуального захисту зручно розміщався на людині, міцно фіксувався, не викликаючи потертостей і ударів під час роботи. Пристрій причіпної системи повинен дозволяти одягання ізолюючого апарата після включення до нього, а також знімати й переміщувати перед собою ізолюючий апарат без вимикання з нього при пересуванні в тісних приміщеннях.

Підвісна система ізолюючого апарата повинна забезпечити рятувальнику можливість швидко, просто та без сторонньої допомоги надягти апарат та регулювати його кріплення (можна відмітити, що конструкція спеціального захисного одягу ізолюючого типу повинна забезпечити його швидке та зручне одягання за допомогою асистента за

час не більше 5 хвилин). Причіпна та амортизуюча системи ременів ізолюючого апарата повинні мати пристрої для регулювання їх довжини та ступеня на тяжіння. Всі пристрої для регулювання положення засобу індивідуального захисту повинні бути виконаними таким чином, щоб ремені після регулювання міцно фіксувались. Регулювання ременів підвісної системи не повинно порушувати протягом всієї роботи.

Більшість конструктивних вимог пов'язана із забезпеченням безпечної роботи рятувальника. Це і показники тиску в камері редуктора (див. розд. 3, 6), і необхідність автоматичного продувного пристрою, який вилучає з повітропровідної системи газову суміш (див. розд. 6.6), і обсяг мертвого простору (див. розд. 1.4), і можливість рятувальника самостійно розкрити герметичний зовнішній скафандр ізолюючого костюма у випадку виникнення аварійної ситуації (при цьому час до визволення дихальних шляхів повинен бути не більше 30 с) тощо.

8.3. Контрольні випробування за допомогою приладів

Контрольні випробування за допомогою приладів можна поділити на випробування, для проведення яких можна обійтись без спеціального обладнання, і на такі, при проведенні яких без нього не обійтись.

Так, наприклад, для визначення маси конкретного засобу або його складової частини достатньо мати ваги (для визначення маси ізолюючого апарата – з діапазоном вимірювання до 20 кг з ціною ділення 50 г; для визначення маси ізолюючого костюма II типу – до 50 кг з ціною ділення 100 г; для визначення маси лицевої частини або регенеративного патрона – до 3 кг з ціною ділення 5 г). Для визначення того, наскільки зміщується центр маси засобу захисту від центру маси, його підвішують на штир щита таким чином, щоб лінії, які нанесені на засобі та щиті, були паралельними. Величина зміщення точки підвісу вимірюється за допомогою

вимірювальної лінійки з точністю до 1 мм.

Або випробування щодо підтвердження ймовірності збереження справності ізолюючого апарата. Для контролю показника надійності $P_{xp}(720 \text{ годин})$ на випробування надаються 3 ізолюючих апарати, перевірені та споряджені відповідно до інструкції з експлуатації. Апарати повинні знаходитись у стані очікування до застосування протягом одного місяця. Після цього кожний апарат піддають перевірці № 2 згідно з Настановою з ГДЗС (тобто використовують стандартне обладнання, яке є на кожній базі ГДЗС). При цьому фіксують виявлені відмови. Результат випробувань вважається позитивним, якщо під час проведення перевірки № 2 апаратів не було виявлено ні однієї відмови.

В той же час визначення умовного та фактичного часу захисної дії ізолюючого апарата повинно відбуватись в однакових умовах для всієї вибірки апаратів, яка залучається до випробувань. При цьому це стосується в першу чергу аналізу роботи в апаратах з різним дихальним навантаженням і за різних зовнішніх мікрокліматичних умов. Аналогічна ситуація має місце і тоді, коли необхідно провести кліматичні випробування або визначити працездатність засобів індивідуального захисту після перебування в небезпечному середовищі чи після впливу відкритого полум'я, тощо. В цьому випадку відбуваються так звані стендові випробування (випробування, які відбуваються на спеціально розробленому обладнанні), які дозволяють створити чітко заданий режим роботи, що має таку важливу характеристику як відтворюваність. Через це, до речі, основні показники ізолюючих засобів захисту органів дихання (час захисної дії, ергономічні характеристики) нормуються стосовно до випробувань на установці «Штучні легені».

8.3.1. Визначення часу захисної дії за допомогою установки «Штучні легені»

8.3.1.1. Стенд-імітатор зовнішнього дихання людини

Установка «Штучні легені», яка використовується під час проведення випробувань, фактично уявляє собою стенд-імітатор зовнішнього дихання людини (рис. 8.1). Під час випробувань на стенді визначають час захисної дії, умови дихання, а також параметри основних систем та пристроїв.

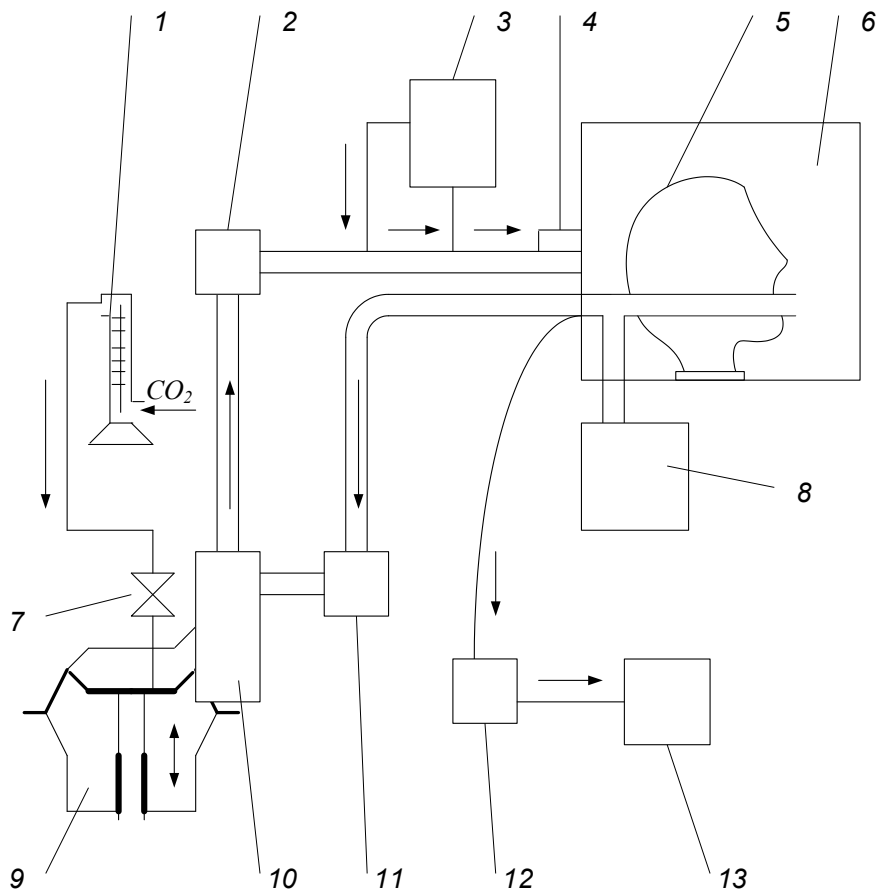


Рисунок 8.1 – Принципова схема стенда-імітатора зовнішнього дихання людини

1 – дозатор CO_2 ; 2 – термостат зі зволожувачем; 3 – аналізатор CO_2 ; 4 – датчики температури і вологості; 5 – муляж голови людини; 6 – кліматична камера; 7 – односторонній клапан; 8 – прибор для виміру опору дихання; 9 – насос «штучні легені»; 10 – клапанна коробка з клапанами вдишу і видиху; 11 – поглинач CO_2 ; 12 – насос для відбору проб; 13 – аналізатор CO_2

Стенд імітує вентиляційну функцію легень та легеневий газообмін. Споживання кисню та виділення двоокису вуглецю імітується при реакції горіння метанолу. Для імітації вентиляційної функції легень стенд створює пульсуючий потік газу зі зміною об'ємної витрати, яка є близькою до синусоїдальної з рівною тривалістю фаз вдиху та видиху.

Стенд імітує температуро-вологовий режим видиху шляхом нагрівання та зволоження газоповітряної суміші, що видихається. При цьому забезпечуються значення:

- виділення двоокису вуглецю за стандартних умов (температура $t^{\circ}=0^{\circ}\text{C}$; відносна вологість $\varphi=0\%$);
- поглинання кисню за стандартних умов;
- легенева вентиляція за легневих умов (температура $t^{\circ}=37^{\circ}\text{C}$; відносна вологість $\varphi=100\%$);
- дихальний об'єм за легневих умов.

До складу стенда повинна входити кліматична камера, де підтримується температура в діапазоні від мінус 40°C до 60°C з відхиленням від заданої величини не більше 2°C , зі швидкістю повітряного потоку від 0,3 до 0,9 м/с. Стенд комплектують контрольно-вимірювальними приладами та пристроями, які дозволяють встановлювати та контролювати параметри дихального навантаження та реєструвати наступні параметри ізолюючих апаратів:

- опір диханню в діапазоні від мінус 1000 до 1000 Па з похибкою не більше 20 Па;
- об'ємну долю двоокису вуглецю у суміші, яка вдихується, в діапазоні від 0 до 5% з похибкою не більше 0,1%;
- об'ємну долю кисню у суміші, яка вдихується, в діапазоні від 0 до 25% з похибкою не більше 0,1%;

Газоповітряна суміш, яка відбирається для аналізу, після його

закінчення повертається до системи стенда.

8.3.1.2. Особливості проведення випробувань

При підготовці ізолюючого апарата до випробувань допускається мінімальне втручання в його конструкцію, яке необхідне для визначення деяких параметрів, але при дотриманні умови, що це не порушить нормальної роботи апарата. Допускається приєднання до лицевої частини пристрою для відбору проб газоповітряної суміші та контролю її температури під лицевою частиною.

Після підготовки апарата та настройки стенда на дихальний режим, що відповідає умовам конкретного випробування, зразок поміщають до кліматичної камери у вертикальному стані, лицеву частину надягають на муляж голови людини, що є підключеним до стенду, і закривають камеру.

Випробування проводять за різних умов дихання (різної легеневої вентиляції) і значень температури навколишнього повітря в кліматичній камері.

Випробування, як правило, проводять при чотирьох дихальних режимах. Кількість випробувань для кожного режиму, який визначається сукупністю дихального режиму та значення температури навколишнього середовища, наведено в табл. 8.2.

Перед проведенням випробувань за температури навколишнього середовища 25 та 40°C зразок витримують у кліматичній камері за заданої температури протягом 30 хвилин, а перед випробуванням за температури 60°C його завчасно витримують за температури 25°C протягом 30 хвилин. Перед проведенням випробувань за температури мінус 40 завчасна витримка зразка становить 30 хвилин за температури 0°C.

Таблиця 8.2 - Об'єм випробувань ізолюючого апарата на стенді-імітаторі зовнішнього дихання

Температура у кліматичній камері, °С	Легенева вентиляція, л/хв.			
	12,5	30	60	85
25±1	1	3	2	1
40±1	-	2	1	-
60±2	-	2	-	-
Мінус 40±2	-	2	1	-

Після витримки апарата включають стенд, відкривають вентиль балона апарата, а потім через рівні проміжки часу, але не рідше ніж через 10 хвилин, реєструють у протоколі випробувань наступні параметри: тиск газоповітряної суміші в балоні, об'ємну долю двоокису вуглецю й кисню у повітрі, що поступає на вдих, об'ємну долю двоокису вуглецю в повітроподавальній системі, опір диханню на вдиху та видиху, температуру газоповітряної суміші, яка видихається. По закінченню випробувань у протоколі реєструються працездатність зразку, умовний та фактичний час захисної дії, тиск газоповітряної суміші, при якому спрацював сигнальний пристрій, факти замерзання та запотівання скла лицевої частини. Випробування проводять до вичерпання захисної здатності зразка. Для регенеративного дихального апарата він визначається настанням однієї з нижчевказаних подій: зниження тиску кисню в балоні до 3 МПа, перевищення допустимих значень опору диханню на вдиху та видиху; збільшення об'ємної долі двоокису вуглецю у газовій суміші, яка поступає на вдих, більше 1,5%; зменшення об'ємної долі кисню у газоповітряній суміші, яка поступає на вдих, нижче 21%; перевищення нормативних значень об'ємної долі двоокису вуглецю в дихальному мішку та температури повітря, яке поступає на вдих.

8.3.2. Визначення чутливості засобів індивідуального захисту до впливу відкритого полум'я

8.3.2.1. Вогнева установка для визначення стійкості до впливу відкритого полум'я

Схема вогневої установки для визначення стійкості лицевої частини до впливу відкритого полум'я наведена на рис. 8.2. Під час підготовки до випробування лицева частину закріплюють на спеціальному ложементі кронштейна поворотної стійки.

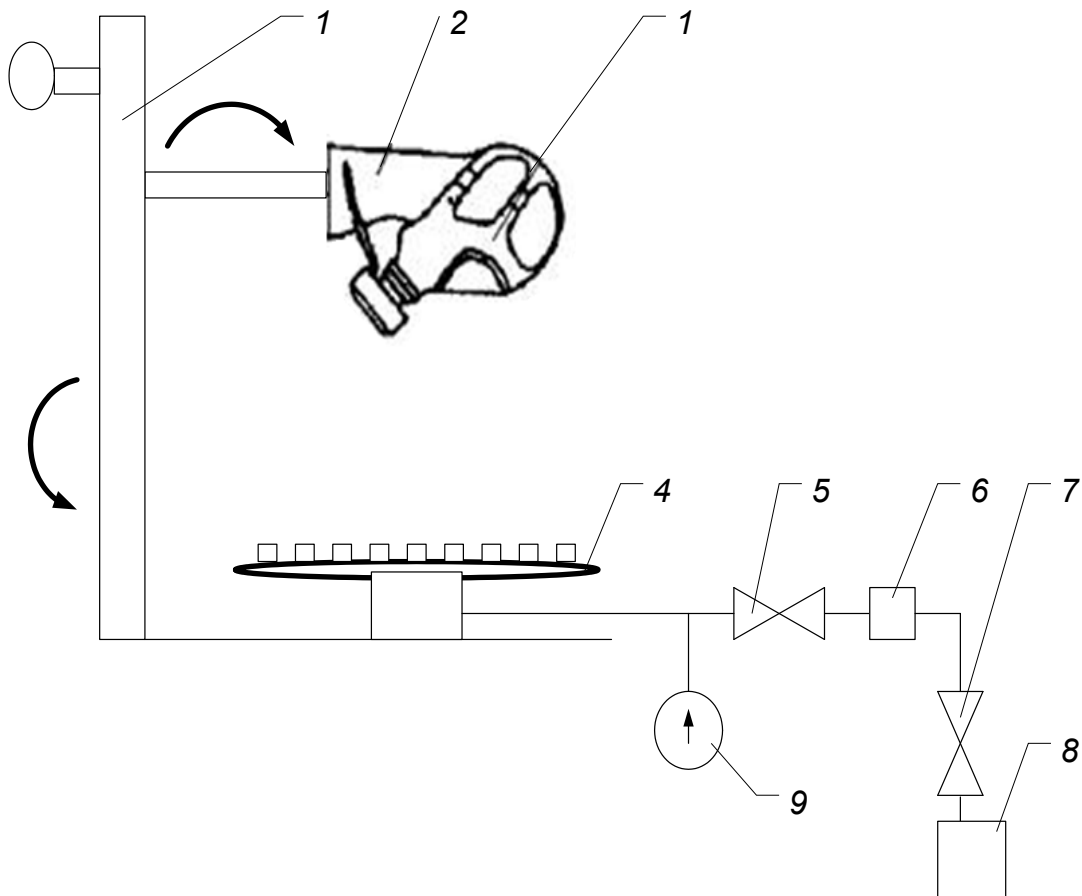


Рисунок 8.2 – Схема вогневої установки для визначення стійкості лицевої частини до впливу полум'я

1 – стійка з ложементом для підвода лицевої частини в зону полум'я; 2 – металевий муляж голови людини; 3 – лицева частина; 4 – горілка з форсунками; 5, 7 – вентилі; 6 – редуктор; 8 – балон із пропаном; 9 – прилад для виміру тиску газу

Схема установки для аналогічних випробувань ізолюючих костюмів дещо відрізняється. Вона має спеціальний фіксатор, який забезпечує при підводі пальника у крайній стан її центральне розташування відносно зразка. Конструктивне виконання цієї установки дозволяє здійснювати підвід та видалення пальника від зразка, виключаючи її перекидання та інші небажані переміщення.

8.3.2.2. Вогневі випробування

Після закріплення зразка включають прилад для вимірювання температури полум'я. Відкривають запірний вентиль балона з пропаном та підносять запальний пристрій до пальника з тим, щоб запалити газ. За допомогою вентиля встановлюють робочий тиск у діапазоні $2,4 \pm 0,2$ кПа. Проводять замір температури полум'я та визначають рівень над пальником, де температура становить $800 \pm 50^\circ\text{C}$. Після цього зразок поміщають у зону відкритого полум'я, використовуючи кронштейн стійки, та заміряють час за секундоміром. Після закінчення заданого часу (для лицевої частини – 5 с, для ізолюючого костюма – 30 с) зразок прибирається із зони полум'я та перевіряється його стан.

Так, наприклад, для лицевої частини результат випробування вважається позитивним, якщо після його закінчення вона не підтримує горіння або тління більше 5 с, відсутні руйнування скла, а також забезпечується її герметичність.

Для ізолюючого костюма результат є позитивним, якщо відсутні:

- займання;
- залишкові горіння та тління більше 2 с;
- руйнування;
- зменшення лінійних розмірів більше ніж на 10%;
- пошкодження (оплавлення і обуглення) поверхні більше 40 см^2 ;

- втрата маси зразка більше 20%;
- наскрізний прогар;
- зниження фізико-механічних показників тканини верху більш ніж на 60%.

8.4. Лабораторні дослідження на людях

8.4.1. Контрольні випробування на людях у лабораторних умовах

Необхідність проведення контрольних випробувань на людях можна довести, наприклад, таким прикладом – відомі до цього часу динамічні установки штучних легень недостатньо імітують дихання людини, в них відсутня повна (за масою та об'ємом) імітація споживання кисню людиною при різних дихальних режимах і співвідношеннях споживання кисню і виділення діоксиду вуглецю.

Діючі установки не дозволяють контролювати вологість дихальної суміші на виході з апарата. Останнє не дозволяє достовірно оцінювати значення одного з основних параметрів якості ізолюючих засобів захисту органів дихання – температуру газової суміші, яка вдихується, оскільки для різних значень вологості допустимі температури істотно відрізняються. Крім того, параметри дихання існуючих установок можуть змінюватися лише вручну за командою оператора, у той час як при реальному використанні ізолюючих апаратів параметри дихання людини і характеристики апаратів тісно пов'язані один з одним. Відомо також, що параметри дихання людей дуже сильно залежать від віку, ваги, фізичного навантаження та ін., що вносить до характеристики дихання, створюваного на стенді «Штучні легені», високий ступінь невизначеності. Тому в наявності проблема неадекватності умов і результатів випробувань ЗІЗОД на установках «Штучні легені» та людей. Це серйозно ускладнює,

наприклад, процес проектування ізолюючих апаратів в умовах невизначеності і, в ряді випадків, може направити його неправильним шляхом. У зв'язку з цим визначальними перевітками якості засобів індивідуального захисту до теперішнього часу є їх випробування на добровольцях-випробувачах. Одночасно треба мати на увазі, що ці випробування є досить дорогими і вимагають наявності кваліфікованого персоналу.

Таким чином, лабораторні дослідження на людях доповнюють основну оцінку КЗІЗ, яку отримали під час випробувань на приладах, а також на стенді-імітаторі дихання. Їх метою є визначення захисних властивостей КЗІЗ, умов дихання, фізіологічних реакцій газодимозахисників, особливостей роботи складових частин та систем КЗІЗ, зручності користування ним тощо.

В основі лабораторних досліджень – застосування методу визначення працездатності людини в КЗІЗ, суттю якого є оцінка його впливу на працездатність газодимозахисника шляхом дослідження його функціонального стану та можливості виконання роботи в заданих умовах. Функціональний стан газодимозахисника в КЗІЗ і можливість виконання роботи оцінюють за наступними показниками:

- обмеження рухомості;
- частота серцевих скорочень;
- артеріальний тиск;
- середня температура тіла;
- витривалість до статичного навантаження;
- час простої зоро-моторної реакції;
- якість виконання коректурної проби;
- гострота зору;
- поріг чутності;

- самооцінка тим, хто проводить випробування, функціонального стану;

- працездатність.

Лабораторні дослідження КЗІЗ повинні починатись з попередньої оцінки їх впливу на рухомість людини. Після цього проводять:

- визначення працездатності людини в КЗІЗ у лабораторних умовах при виконанні дозованого фізичного навантаження та навантаження оператора в оптимальних мікрокліматичних умовах та на границі заданого мікрокліматичного діапазону експлуатації (як правило, залучається не менше трьох випробувачів);

- визначення працездатності людини в КЗІЗ у лабораторних умовах при моделюванні основних елементів професійної діяльності на границях заданого мікрокліматичного діапазону експлуатації КЗІЗ (як правило, залучається не менше трьох випробувачів);

- визначення працездатності людини в КЗІЗ у виробничих умовах за найбільш характерних умов та режимів роботи (як правило, залучається не менше десяти випробувачів).

Інші показники оцінюють саме під час оцінки працездатності в КЗІЗ.

Випробування відбуваються під керівництвом начальника спеціалізованого дослідницького підрозділу, який призначає відповідального за випробування. Останній залучає для участі у випробуваннях: випробувачів, відповідального за підготовку КЗІЗ, лікаря та фізіолога.

В якості випробувачів залучаються газодимозахисники, які регулярно працюють у засобах індивідуального захисту та мають відповідні медичні показання. Допуск до випробування здійснює лікар. Перед дослідженнями випробувач отримує повну інформацію щодо їх характеру та обсягу.

Випробування проводять в ергометричному залі (площа 20 м², висота

2,7 м), камерах тепла та холоду (об'єм не менше 12 м³, діапазон температур від мінус 50 до плюс 50°С), а також камері масляного туману. Для створення фізичних навантажень використовують:

- стенд-рухома доріжку (швидкість руху транспортера міняється від 30 до 100 м/хв.), на якій встановлено імітатор носилок вагою 40 кг;
- вертикальний ергометр із вантажами 10 і 20 кг та висотою підйому 1,2 м;
- стенд-нескінченну драбину зі змінною швидкістю руху поперечин драбини в діапазоні від 4 до 20 м/хв. та змінним нахилом драбини від 65 до 90°;
- помости висотою 20 см, 30 см та 40 см;
- секундомір;
- вантаж (ящик із ручками або гиря) масою 20 кг.

Дозоване фізичне навантаження здійснюється як шляхом виконання типових навантажувальних тестів, так і шляхом виконання дозованої фізичної роботи, яка імітує реальне навантаження газодимозахисників під час гасіння пожеж та проведення аварійно-рятувальних робіт. На випробувачах повинен бути штатний комплект захисного одягу, а під час роботи в камері тепла та холоду крім того повинні бути одягнутими рукавиці та шерстяний підшоломник.

Протяжність та послідовність виконання типових вправ під час лабораторних досліджень ізолюючих апаратів наведена в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 – Перелік вправ, порядок та протяжність їх виконання під час проведення випробувань ізолюючих апаратів в ергометричному залі та камерах тепла і холоду

Найменування вправ	Температура навколишнього середовища, °С		
	-40	25	40
Ходьба по горизонтальній рухомій доріжці зі швидкістю 80 м/хв.	-	10/3*	5/3**
Повзання на четвереньках по полу зі швидкістю 10 м/хв.	-	5/3	-
Робота на вертикальному ергометрі, вантаж 20 кг, висота підйому 1,2 м, темп 20 разів у хвилину	-	5/3	-
Підйом по драбині (кут нахилу 75°), швидкість 10 м/хв.	-	5/3	-
Перенесення нош масою 40 кг зі швидкістю 60 м/хв. по рухомій доріжці	-	5/3	-
Робота на вертикальному ергометрі, вантаж 10 кг, висота підйому 1,2 м, темп 20 разів у хвилину	-	-	10/3
Підйом на поміст висотою 30 см та спуск з нього в темпі 20 разів у хвилину	5/2	-	5/3
Перенесення вантажу масою 20 кг на відстань 5 м	10/3	-	10/3
Підйом вантажу масою 20 кг на висоту 1,2 м з інтенсивністю 10 разів у хвилину	10/3	-	10/3
Ходьба по горизонтальній рухомій доріжці зі швидкістю 80 м/хв.	-	15	5

Пояснення:

* В чисельнику указана протяжність виконання вправ, а у знаменнику –

протяжність відпочинку після виконання вправи.

** Під час випробувань ізолюючого апарата за температури 40°C вступна та заключна частини проводяться за температури навколишнього середовища 25°C

Особливостями проведення лабораторних досліджень КЗІЗ на людях є:

- замір перед початком та після випробувань:

- тактико-технічних характеристик КЗІЗ;
- маси тіла;
- росту;
- частоти дихання;
- частоти пульсу;
- артеріального тиску;
- ректальної (підмишечної) температури тіла;

- замір під час дослідження після кожної вправи:

- показань манометру;
- частоти дихання;
- частоти пульсу;

- припинення випробувань за умов:

- зниження запасу газоповітряної суміші в КЗІЗ нижче визначеної в ТТХ норми (наприклад 1,0 МПа для АСП);
- досягнення параметрів оперативного контролю за станом випробувача (див. табл. 8.4), що вимагають припинення випробувань (неможливість випробувачем продовжувати роботу);
- фіксація суб'єктивної оцінки кожним випробувачем як досліджуваного засобу захисту (зручності використання та умови дихання), так і свого стану (самопочуття, ступеня втоми, тощо).

Таблиця 8.4 – Параметри оперативного контролю за станом випробувача, які вимагають припинення досліджень засобів індивідуального захисту

Показник, що оцінюється	Фізичне навантаження		
	1-й ступінь (легка робота, операторська діяльність)	2-й ступінь (робота середнього ступеня важкості)	3-й ступінь (важка робота)
Частота серцевих скорочень, хв. ⁻¹	110	150	180 (інколи встановлюють 170)
Артеріальний тиск, мм рт. ст.	145/90	160/110	180/120
Пульсовий тиск, мм рт. ст.	20	30	35
Ректальна температура, °С верхня границя	38,5	38,6	38,7
нижня границя	36,1	36,4	36,7
Самооцінка функціонального стану	Виражений дискомфорт		
Самооцінка працездатності	Працездатність значно знижена		

Результати лабораторних досліджень КЗІЗ вважаються позитивними, якщо, по-перше, під час випробувань технічні характеристики відповідали визначеним в експлуатаційній документації, та, по-друге, не осталося нарікань з боку випробувачів.

8.4.2. Особливості використання навантажувальних тестів

Оцінка працездатності газодимозахисників на сучасному рівні не можлива без широкого застосування навантажувальних тестів, оскільки дані обстежень, якщо їх провести у стані спокою, не повністю відбивають функціональний стан і резервні можливості організму, що задіюються під час виконання оперативної роботи.

Задачі навантажувальних тестів:

- визначення працездатності та придатності до виду діяльності, яка розглядається (в нашому випадку – до роботи в одному з типів ізолюючих апаратів);
- детальна оцінка функціонального стану та резервних можливостей газодимозахисника.

Тестування дозволяє оцінювати функціональний стан організму в цілому, його готовність до виконання функціональних обов'язків у конкретному ізолюючому апараті, рівень загальної та спеціальної працездатності та ін.

Всі матеріали тестування розглядаються не ізольовано, а комплексно з іншими ергономічними показниками. В самому загальному вигляді до тестів висуваються вимоги, найбільш важливими серед яких є надійність та валідність функціональних проб. В першому випадку мова йде, головним чином, щодо повтору результату за збереження незмінним функціонального стану організму тієї людини, яка досліджується, та зовнішніх умов проведення тестів. У другому – про точність, з якою виконуються вимірювання того або іншого параметру, інформативність проби.

Розділяють наступні види вхідних дій, які використовуються при тестуванні:

- фізичне навантаження;

- зміна положення тіла у просторі;
- зміна газового складу вдихуваного повітря.

Внаслідок складності досліджень та низької інформативності для вирішення поставлених питань порівняльної оцінки різноманітних ізолюючих апаратів тести, які пов'язані з питаннями зміни газового складу вдихуваного повітря розглядатись не будуть.

Найбільш часто в якості вхідної дії застосовується фізичне навантаження, форми якого можуть бути різноманітними. При використанні рухових тестів, особливо у нетренованих людей, можуть виникнути складнощі, які в більшості випадків пов'язані з перевантаженням досліджуваного. Для їх уникнення дотримуються певних правил.

8.4.3. Найбільш поширені навантажувальні тести

Існуючі тести мають добру фізіологічність, простоту та доступність. Вони не вимагають дорогого обладнання та спеціальних навичок. Використання навіть найбільш простого степ-тесту дозволяє отримати достатню фізіологічну та клінічну інформацію. Внаслідок цього двоступеневий тест знайшов широке застосування для оцінки рівня витривалості як у нашій в країні, так і за кордоном.

У найбільш загальному вигляді фізична працездатність є пропорційною тій кількості механічної роботи, яку людина здатна виконувати з високою ефективністю досить довго.

Для оцінки рівня фізичної працездатності газодимозахисника можна використовувати метод функціональної проби з дозованим фізичним навантаженням (степ-тест). Для проведення тесту потрібні сходинки висотою 25 та 50 см, секундомір і метроном. Тест полягає в контролі за частотою серцевих скорочень (ЧСС) на початку 4-ї хвилини виконання

першого та другого фізичного навантаження.

Газодимозахисник (у повсякденному одязі) за температури 20⁰С виконує два фізичних навантаження, підіймаючись на сходинку протягом 4 хвилин. Перше навантаження виконується при підйомі на сходинку висотою 25 см та спуск з неї зі швидкістю $f = 20$ сходів за 1 хвилину, друга (вона проводиться через 2 хвилини після першої) – в підйомі на сходинку висотою 50 см у тому ж темпі. Темп підйому задається метрономом. Пульс прощупується пальцями на лівій артерії кисті руки або, за наявності апаратури, дистанційно. Інтегральний показник, який характеризує працездатність людини та рівень її загальної фізичної працездатності, виражається кількісно через показник фізичної працездатності PWS_{170} (кг·м/хв·кг) на 1 кг маси тіла і розраховується за формулою

$$PWS_{170} = \frac{N_1 + (N_2 - N_1) \cdot \frac{170 - P_1}{P_2 - P_1}}{M}, \quad (8.1)$$

де P_1 та P_2 – ЧСС на початку 4-ої хвилини виконання відповідно першого та другого фізичних навантажень, удар/хв.;

M - маса тіла, кг;

170 удар/хв. – критерій граничного фізичного навантаження для ЧСС людини;

N_1 та N_2 – потужність виконаної роботи при першому та другому навантаженні, кг·м/хв.;

$$N = f \cdot M \cdot h, \quad (8.2)$$

де $f = 20$ – швидкість підйому на сходинку, 1/хв.;

h – висота сходинки, м.

На основі PWS_{170} оцінюють загальну фізичну працездатність за табл. 8.5.

Таблиця 8.5 – Показник фізичної працездатності газодимозахисників залежно від віку

Вік, років	Фізична працездатність, кг·м/хв. на 1 кг маси тіла				
	низька	знижена	середня	висока	дуже висока
20–29	< 14,3	14,3–16,2	16,3–19,3	19,4–20,9	>21
30–39	< 13,0	13,0–14,9	15,0–17,9	18,0–19,1	>19.2
40–49	< 11,6	11,6–13,4	13,5–16,4	16,5–17,9	>18
50–59	< 9,8	9,8–12,0	12,1–14,9	15,0–16,4	>16,5

Поряд із терміном “загальна фізична працездатність” існує термін “спеціальна працездатність”, який характеризує можливість газодимозахисників виконувати роботи у специфічних умовах.

Для оцінки рівня адаптації газодимозахисника до фізичних навантажень у тепловій камері він виконує в ній (за температури 30⁰С та відносної вологості 25–30 %) підйом на сходинку висотою 50 см та спуск з неї протягом 5 хвилин. Підйом на сходинку виконується в темпі 30 раз за хвилину. Підйом виконується в чотири рухи: 1 – на сходинку ставиться одна нога; 2 – на сходинку ставиться друга нога; 3 – на підлогу ставиться нога, з якої починався рух; 4 – на підлогу ставиться друга нога. У тих випадках, коли газодимозахисник виконує вправу менше 5 хвилин, фіксується час, протягом якого виконувалась робота. Якщо через втому газодимозахисник не здатний підтримувати заданий темп протягом 20 с,

виконання вправи припиняється. При розрахунках приймається фактичний час виконання навантаження.

Після виконання вправи газодимозахисник відпочиває сидячи. Починаючи з другої хвилини, у нього через 30-секундні відрізки підраховують число пульсових ударів (з 60 до 90 с; з 120 до 150 с та зі 180 до 210 с). Результати цих трьох підрахунків складають та помножують на два (перевід ЧСС до 1 хвилини). Результати тестування виражають в умовних одиницях у вигляді індексу, так званого Гарвардського степ-тесту (ІГСТ). Цей показник розраховують за формулою:

$$\text{ІГСТ} = \frac{t \cdot 100}{(f_1 + f_2 + f_3) \cdot 2}, \quad (8.3)$$

де t – фактичний час виконання навантаження, с;

f_1, f_2, f_3 – сума пульсуючих ударів за перші 30 с кожної хвилини (починаючи з другої) відновлювального періоду.

Розмір ІГСТ (див. табл. 8.6) характеризує швидкість відновлювального процесу після напруженої м'язової роботи.

Таблиця 8.6 – Оцінка результатів Гарвардського степ-тесту

ІГСТ		Оцінка
Менше	55	погана
	55–64	нижче середньої
	65–79	середня
	80–89	добра
Більше	90	відмінна

Для порівняння здатності орієнтуватись у просторі при використанні різноманітних ізолюючих апаратів застосовується *показник динамічної*

стійкості (ДС). Для цього досліджуваний повинен подолати дистанцію в 10 м вздовж прямої лінії із закритими очима (їх для цього зав'язують або, якщо застосовується шолом-маска, окуляри закриваються непрозорим матеріалом) після того, як його повернуть кілька разів навколо себе.

Показник ДС розраховується наступним чином:

$$ДС = \Delta L \cdot t, \quad (8.4)$$

де ΔL – відхилення від осі при подоланні 10-метрової дистанції із закритими очима, см;

t – час подолання дистанції, с.

8.4.4. Порівняльна оцінка ізолюючих апаратів за результатами використання навантажувальних тестів

Для порівняльної оцінки ефективності використання різноманітних ізолюючих апаратів розглядалась робота в апаратах на стисненому повітрі АСВ-2М, регенеративних ізолюючих апаратах Р-30 та апаратах на хімічно зв'язаному кисню ИП-4. До дослідження було залучено три групи по 25 рятувальників однакового рівня підготовленості. Особовий склад кожної із груп працював в апаратах одного типу. В якості тестових завдань були обрано Гарвардський степ-тест (8.3) та тест оцінки динамічної стійкості (8.4).

Збільшення індексу Гарвардського степ-тесту свідчить про кращу пристосованість газодимозахисників до виконання важких робіт. На відмінність від ІГСТ збільшення ДС свідчить про погіршення якості, яка розглядається. Графіки з порівняльними оцінками отриманих результатів наведено на рисунках 8.3 та 8.4.

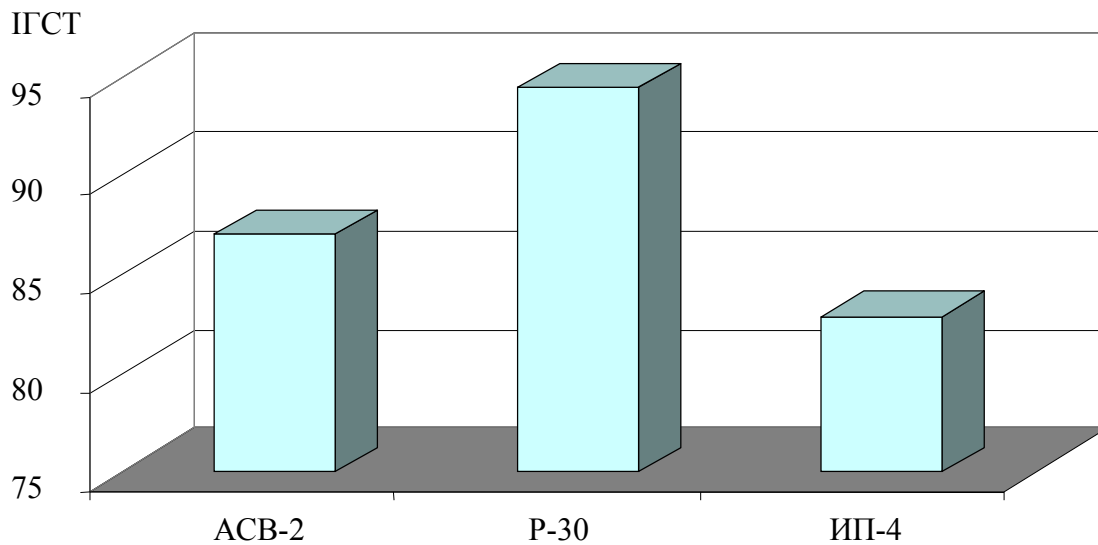


Рисунок 8.3 – Порівняльна оцінка виконання важкої роботи

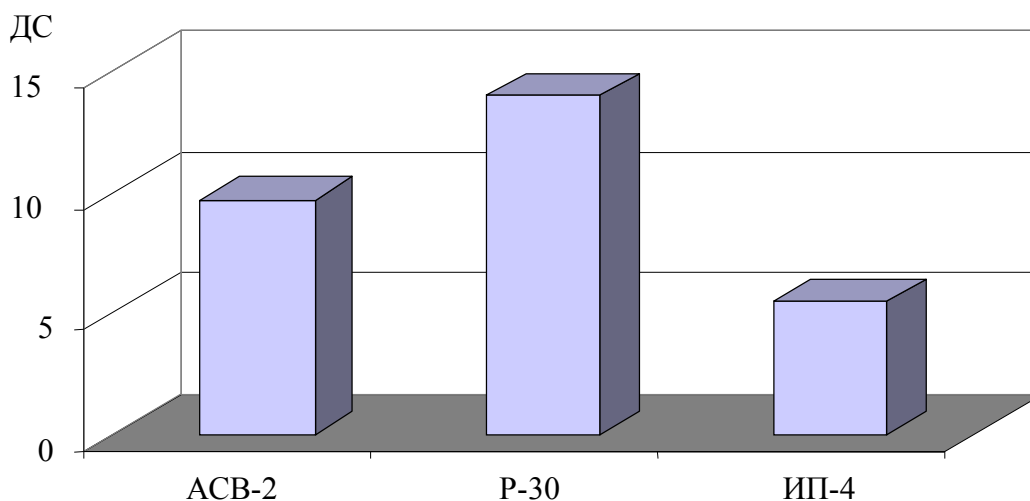


Рисунок 8.4 – Порівняльна оцінка здатності орієнтуватись у просторі

Їх аналіз дозволяє стверджувати, що до тих переваг та недоліків ізолюючих апаратів, що пов'язані з принципом їх дії (див. розд. 3), можна додати ще й ті, що пов'язані з ефективністю виконання тієї чи іншої роботи. Так, оскільки виконання Гарвардського степ-тесту відповідає виконанню важкої роботи, можна стверджувати (див. рис. 8.3), що найбільш ефективним для виконання в непридатному для дихання середовищі оперативної роботи, яка пов'язана зі значним фізичним навантаженням протягом більше 5 хвилин, є використання регенеративних

дихальних апаратів зі стиснутим киснем. Найменш ефективним – регенеративних дихальних апаратів на хімічно зв'язаному кисню.

І навпаки, при виконанні робіт, які вимагають здатності добре орієнтуватися у просторі, не виконуючи при цьому важкої роботи, самими ефективними є (рис.8.4) апарати на хімічно зв'язаному кисню.

Таким чином, АХЗК доцільно використовувати для проведення першочергових дій з організації робіт з евакуації потерпілих оперативним складом та відповідальними особами на об'єктах, в першу чергу із будівель з масовим перебуванням людей. Оснащення оперативно-рятувальних підрозділів такими апаратами можливе у тому разі, коли практично не передбачається виникнення пожеж та надзвичайних ситуацій з наявністю непридатного для дихання середовища (наприклад, у сільській місцевості). В цьому випадку під час підготовки рятувальників особливу увагу необхідно звернути на тренування загальної та спеціальної працездатності.

8.5. Полігонні випробування

Полігонні випробування КЗІЗ відбуваються на відкритому повітрі та в теплодимокамері. Ланки газодимозахисної служби у складі не менше трьох осіб в захисному одязі зі спорядженням виконують визначений програмою досліджень комплекс вправ.

Етапи полігонних випробувань:

- вивчення конструкції засобу індивідуального захисту;
- вивчення правил користування та підготовки;
- спорядження та перевірку КЗІЗ;
- робота в КЗІЗ.

Мета полігонних випробувань – перевірка відповідності КЗІЗ загальним технічним вимогам (в першу чергу відповідності будові

людини, можливості виконання типових операцій для проведення аварійно-рятувальних робіт, легкодоступності та зручності в застосуванні, неможливості пошкодити найбільш важливі елементи конструкції тощо).

Перед початком випробувань та після їх завершення перевіряють тактико-технічні характеристики засобу захисту (під час виконання перевірки № 2), у випробувача заміряють масу тілі, ріст, частоту дихання, частоту пульсу, артеріальний тиск, температуру тіла. Під час випробувань після кожного виду робіт (вправ) фіксують наступні параметри: протяжність вправи (робота та відпочинок); частота пульсу; показання манометру.

Детальний зміст кожного виду вправ визначається особою, яка призначена за проведення випробувань. Порядок та протяжність виконання вправ можуть коригуватись залежно від КЗІЗ, часу його захисної дії, місцевих особливостей. Перелік типових вправ, які виконуються під час полігонних випробувань ізолюючих апаратів, наведено в табл. 8.7.

Таблиця 8.7 – Перелік вправ, які проводяться під час полігонних випробувань ізолюючих апаратів

Найменування вправ	Протяжність вправ, хв.		
	на свіжому повітрі	в димо-камері	в тепло-камері
Рух по горизонтальній поверхні (швидкість 50–80 м/хв.)	5	-	-
Робота з ручним немеханізованим пожежним інструментом (лом, сокира тощо)	10/3	-	-
Підйом та спуск по драбині (маршовій,	5/2	-	-

вертикальній, штурмовій тощо)			
Проведення розвідки з пошуком людини (манекена) та винесення її на свіже повітря	-	10/3	-
Виніс майна з приміщень (ящиків 30–40 кг)	-	10/3	-
Проведення розвідки з пошуком людини, включення її до рятувального пристрою та виведення на свіже повітря	-	10/3	-
Перенесення вантажу масою 10 кг	-	-	8/3
Робота на вертикальному ергометрі	-	-	5

Пояснення. В чисельнику указано протяжність виконання вправ, а у знаменнику – протяжність відпочинку після виконання вправи.

Полігонні випробування проводять до:

- зниження запасу газоповітряної суміші в КЗІЗ нижче визначеної в ТТХ норми (наприклад 3,0 МПа для КИП-8М);
- порушення нормальної роботи засобів індивідуального захисту (несправність якого-небудь пристрою, витікання запасу газоповітряної суміші тощо);
- з'явлення суб'єктивного відчуття, яке не дає проводити випробування (високий опір диханню, погіршення самопочуття та ін.);
- підвищення частоти пульсу до 150 хв.^{-1} , якщо вона не зменшується протягом 5 хвилин відпочинку.

Після закінчення кожного випробування проводять опитування газодимозахисників щодо самопочуття, умов дихання, зручності користування при виконанні різноманітних робіт. Результати опитування фіксуються у протоколі.

За результатами лабораторних та полігонних випробувань підтверджують вірогідність безвідмовної роботи КЗІЗ. Відмови під час лабораторних та полігонних випробувань на людях визначає той, хто працює в засобах індивідуального захисту, за результатами суб'єктивної «оперативної» перевірки перед початком роботи та протягом всієї апаратозміни. До них відносяться, наприклад, відчутні, проте все ж такі, що можна перенести: підвищенні опори диханню та температура газоповітряної суміші, яку вдихає газодимозахисник. До них також відносять виникнення обов'язкової необхідності переключення людини в запасний засіб захисту або саморятувальник та суттєві поломки підвісної системи, які ускладнюють утримання засобу захисту в робочому стані. При випробуваннях враховують тільки відмови, які залежать від внутрішніх причин, тобто від конструкції КЗІЗ, та не враховують відмови, які були викликані зовнішніми випадковими впливами.

Загальною ознакою відмови під час випробувань на людях є втрата здатності засобу захисту захищати органи дихання та зору (а в ізолюючих костюмах і поверхні тіла) людини та обов'язкова необхідність переключення в резервний засіб захисту чи саморятувальник, або необхідність покинути місце роботи і виключитись з апарата.

Для ізолюючих апаратів, наприклад, результати вважаються позитивними, якщо під час проведення 340 апаратозмін не виникло жодної відмови.

8.6. Підконтрольна експлуатація комплексу засобів індивідуального захисту

Крім вищевикладеного, одним з основних видів експлуатаційних випробувань є так звана підконтрольна експлуатація комплексу засобів індивідуального захисту. Підконтрольна експлуатація являє собою

природну експлуатацію, хід і результати якої спостерігаються персоналом, що є спеціально призначеним та підготовленим для цієї цілі (додатковим або штатним), а також керується документацією, спеціально розробленою для збору, обліку та первинної обробки інформації, джерелом якої є підконтрольна експлуатація.

Особливості підконтрольної експлуатації ізолюючих апаратів розглянемо на прикладі аналізу результатів тактико-спеціальних навчань на станціях Харківського метрополітену глибокого закладення.

В основу проведення експериментальних досліджень було покладено вимірювання часу виконання газодимозахисниками операцій, які є характерними для загального процесу аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену незалежно від характеристик станції та місця виникнення надзвичайної ситуації, в ході відповідних тактико-спеціальних навчань. Під час останніх, поряд з відпрацюванням питань взаємодії різноманітних міських служб та вдосконаленням виучки персоналу метрополітену та рятувальників, виконувались дослідження, метою яких було визначення комплексу організаційно-технічних заходів, реалізація яких підвищить ефективність оперативної роботи газодимозахисників при виникненні надзвичайних ситуацій, в першу чергу під час проведення рятувальних робіт.

Під час цих навчань були отримані вихідні дані, які використовувались для розкриття закономірностей виконання типових операцій. Одночасно були визначені умови проведення пожежно-тактичних занять, якщо отримана вибірка була недостатньою для отримання статистично значущих результатів. Відповідні експериментальні дослідження проводились вже під час практичних занять газодимозахисників.

Так, в результаті тактико-спеціальних навчань було визначено розподіл часу виконання характерних операцій, які виконують

рятувальники під час надзвичайної ситуації на станції метрополітену. Розглядалися спуск та підйом по нерухомих ескалаторах, евакуація пасажирів та обслуговуючого персоналу шляхом супроводу та перенесення, проведення розвідки у великих приміщеннях зі складними конструктивно-планувальними рішеннями, оперативне розгортання підрозділів із прокладанням рукавних ліній. Деякі з отриманих результатів наведені на рис. 8.5–8.8.

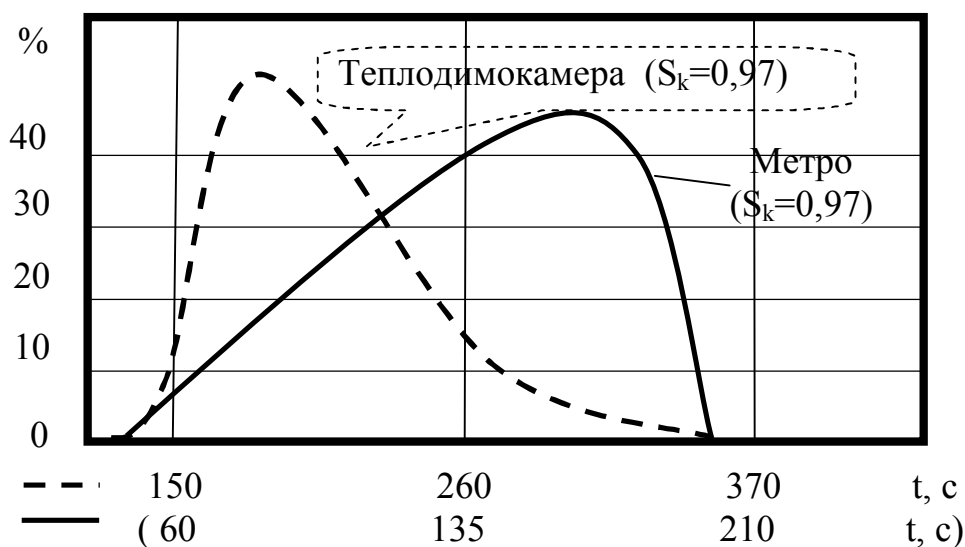


Рисунок 8.5 – Розподіл часу підготовки ланки ГДЗС до роботи

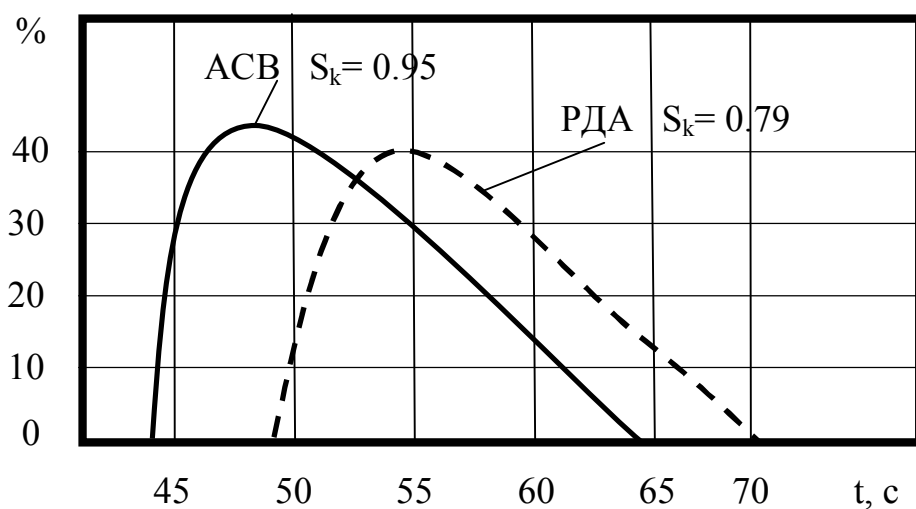


Рисунок 8.6 – Розподіл часу виконання оперативної перевірки ізолюючих апаратів

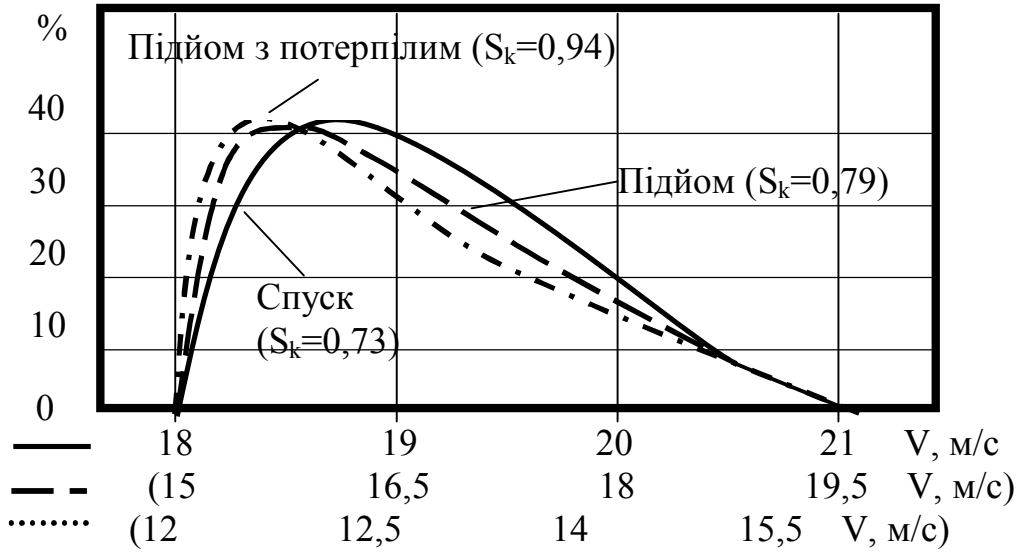


Рисунок 8.7 – Розподіл швидкості руху по нерухомому ескалатору

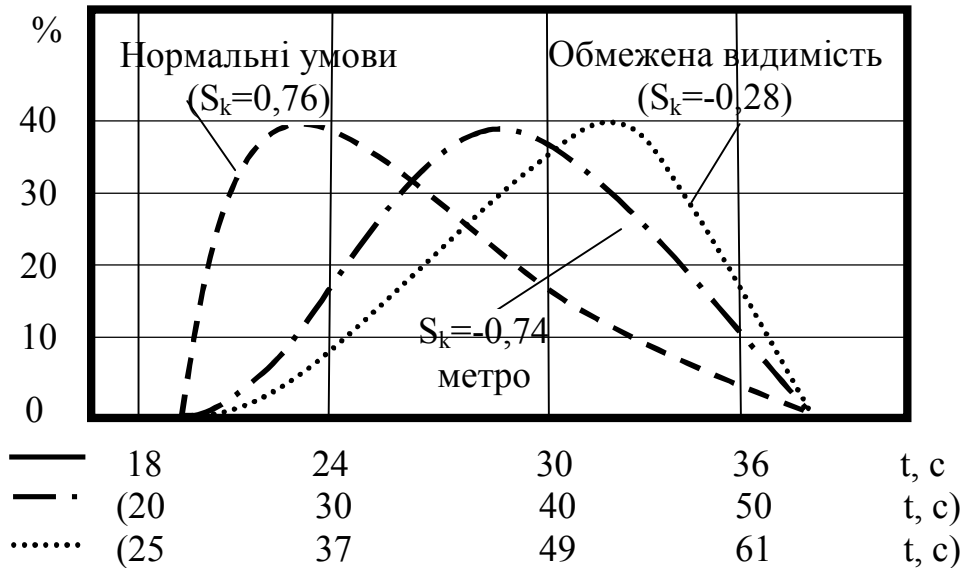


Рисунок 8.8 – Розподіл часу приєднання рукава до пожежного крана

Крім цього, на рис. 8.5 пунктирною лінією наведено розподіл часу підготовки ланки ГДЗС до робіт в теплодимокамері, до яких всі газодимозахисники підготовлені дуже добре. Це пояснюється як тим, що дії кожного рятувальника для цієї ситуації достатньо добре визначені, так і тим, що вони виконуються, як правило, одним і тим же складом не рідше одного разу на три місяці.

На рис. 8.8 поряд з розподілом (суцільна лінія) часу приєднання рукава до пожежного крана в умовах обмеженої видимості на фоні

виконання перед цим важкої роботи (умови є характерними для роботи газодимозахисників в метро після спуску по нерухомому ескалатору з рукавними скатками та прокладання рукавної лінії від сухотрубу), наведені розподіли часу виконання цієї ж операції в нормальних умовах (тренування її виконання в тому чи іншому сполученні виконуються на кожному чергуванні під час занять з пожежно-рятувальної підготовки) та в умовах тільки обмеженої видимості (штрих-пунктирна лінія).

Найбільш поширеною та важливою характеристикою процесу дихання, яку використовують не тільки при створенні засобів індивідуального захисту ізолюючого типу, але і для розрахунку часу роботи в них (під час аварійно-рятувальних робіт їх виконують на постах безпеки, безпосередньо в ланці та у штабі ліквідації надзвичайної ситуації), є легенева вентиляція (1.4), яка визначається кількістю повітря Q , яке необхідне для дихання протягом часу t . Як було відзначено в 1.5, ця характеристика залежить від стану людини та виду діяльності, яку вона виконує.

В першому розділі були розглянуті показники легеневої вентиляції, що відповідають виконанню робіт різного ступеня важкості. Проте особливості розходу запасу газоповітряної суміші, які пов'язані зі специфікою проведення аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену (виконання важких робіт у поєднанні з високою психоемоційною напруженістю, недостатньою підготовленістю до виконання окремих специфічних операцій, характерних тільки для ліквідації надзвичайних ситуацій в метрополітені), не розглядались. Все це поставило задачу оцінки того, як змінюється легенева вентиляція під час проведення аварійно-рятувальних робіт в метрополітені.

Оскільки в Харківському гарнізоні газодимозахисники поміняли морально застарілі регенеративні дихальні апарати КИП-8, які відпрацювали свій ресурс, на сучасні апарати на стиснутому повітрі

(АСП); основну увагу у процесі дослідження було приділено аналізу можливостей останніх. Зважаючи на те, що конкретні конструкції ізолюючих апаратів принципово відрізняються одна від одної об'ємом балона (балонів), для узагальнення результатів експериментальної оцінки використовувався показник $\omega_{л}$ легеневої вентиляції, розрахунок якого для кожного (і-го) газодимозахисника виконувався наступним чином:

$$\omega_{ли} = \frac{(P_{нач\ i} - P_{кон\ i}) \cdot V_{би}}{P_a \cdot t_i}, \quad (8.5)$$

де $P_{поч\ i}$ й $P_{кін\ i}$ – відповідно початковий і кінцевий тиск у балоні, МПа;

$V_{би}$ – об'єм балону, л;

$P_a \approx 0,1$ МПа – атмосферний тиск;

t_i – розглянутий проміжок часу, хв.

Отримані розподіли значень витрати повітря з деяких видів робіт, що виконувались в АСП, наведені на рисунку 8.9.

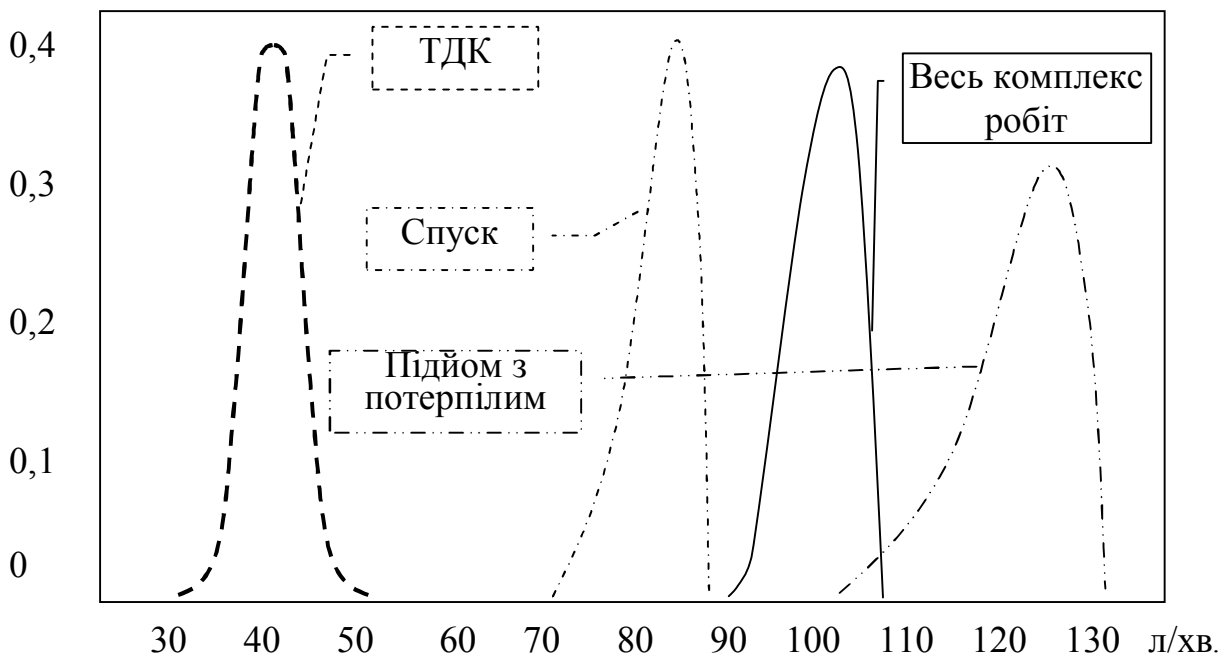


Рисунок 8.9 – Розподіл витрати повітря при роботі в АСП в метрополітені

З отриманих результатів видно, що зі збільшенням ступеня важкості робіт, які виконуються під час проведення рятувальних робіт в метрополітені, розбіжність між витратами повітря під час роботи в АСП та показниками легеневої вентиляції, що наведені в науково-технічній літературі (див. табл.1.9), збільшується. Тобто допустимий час виконання окремих операцій визначає не стільки показник легеневої вентиляції, що залежить від ступеня важкості конкретної роботи, скільки витрата повітря при роботі в АСП, що також залежить і від рівня підготовленості, у тому числі і психологічної, газодимозахисників.

Істотна відмінність у процесі АРР СМ показників витрати повітря при роботі рятувальників в АСП від значень легеневої вентиляції, наведених у науково-технічній літературі, поставила питання і про відповідність наведених у літературі (див. табл. 1.8) значень подачі кисню в РДА, які рекомендуються для розрахунків часу роботи ланок і відділень ГДЗС при гасінні пожеж у метрополітені. Це пояснюється тим, що в основу обґрунтування значень подачі кисню при виконанні робіт різного ступеня важкості покладені значення легеневої вентиляції $\omega_{л}$, при виконанні робіт такого ж ступеня важкості

$$q = 0,041 \cdot \omega_{л}, \quad (8.6)$$

де 0,041 – різниця між часткою кисню у вдихуваному ($\eta_{O_2_{вд}} = 0,205$) і видихуваному ($\eta_{O_2_{внд}} = 0,164$) повітрі.

Дослідження особливостей витрати кисню при роботі особового складу в регенеративних дихальних апаратах проводилися на основі аналізу показника середньої за розглянутий проміжок часу подачі \bar{q} кисню. Розрахунок цього показника виконувався за допомогою вираження, аналогічного (8.5). З огляду на замкнуту кругову схему дихання в РДА,

така подача забезпечує легеневу вентиляцію

$$\bar{\omega}_л = \frac{\bar{q}}{\eta_{O_2\text{вд}} - \eta_{O_2\text{вид}}} \quad (8.7)$$

При цьому розглядалися зміни показників тиску в балонах тільки за найбільш важким видом роботи (підйом потерпілого без свідомості по нерухомому ескалатору) і по всьому комплексу робіт у цілому. Результати розрахунку середньої за розглянутий проміжок часу подачі \bar{q} кисню і його середньоквадратичного відхилення G_q наведені на рисунку 8.10.

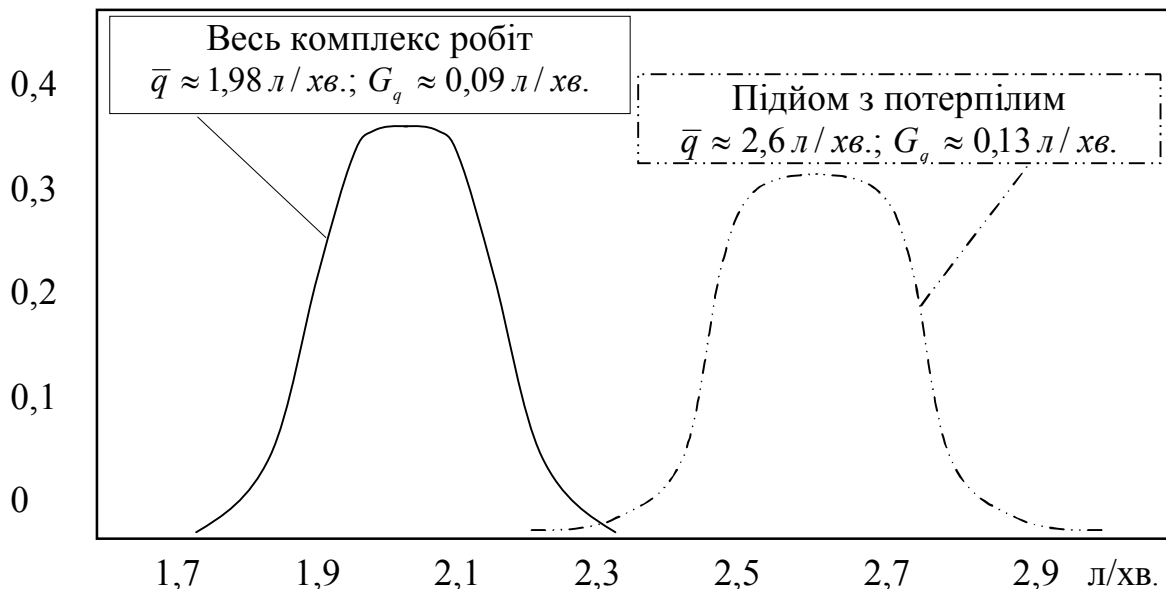


Рисунок 8.10 – Розподіл подачі кисню

Аналіз витрати кисню при роботі в регенеративних дихальних апаратах Р-30 показав, що подача кисню у повітропровідну систему апарата в середньому становила $\bar{q} \approx 1,98 \text{ л/хв.}$ Така подача, з огляду на (8.7), забезпечує легеневу вентиляцію $\bar{\omega}_л \approx 43 \text{ л/хв.}$ Отримані результати показують, що конструкція РДА з ощадливою подачею кисню забезпечує більш економне витрачання газоповітряної суміші не тільки за рахунок

відповідного конструктивного рішення, але й за рахунок компенсації поверхневого дихання при роботі в такому апараті скороченням кількості вуглекислого газу, від якого необхідно очистити видихуване повітря в регенеративному патроні.

Розглядалися й особливості застосування інших засобів індивідуального захисту, а саме апаратів на хімічно зв'язаному кисню.

Проведені експерименти з перенесення «потерпілих» газодимозахисниками в ИП-4 показали їхню неефективність, оскільки повітря всередині повітропровідної системи нагрівався настільки сильно (понад 70⁰С), що мав місце випадок зриву лицьової частини особовим складом. В той же час всі, хто включався в такі апарати, відмічали їхню зручність при виконанні легких та середнього ступеня важкості.

Отримані результати випробувань були використані для прийняття на їх основі конкретних рішень (практичних рекомендацій) щодо забезпечення безпеки та вдосконалення підготовки газодимозахисників (більш докладно це розглянуто в розділі 9.1).

Контрольні запитання та завдання до глави 8

1. Які випробування проводять для контролю якості комплексу засобів індивідуального захисту?
2. З яких етапів складається контроль якості засобів індивідуального захисту?
3. На які групи поділяються показники якості комплексу засобів індивідуального захисту?
4. На які види поділяється сучасний спеціальний захисний одяг ізолюючого типу?
5. Від чого повинен забезпечувати захист КЗІЗ, який використовується для ліквідації НС з викидами радіоактивних речовин ?
6. Після впливу якої температури лицева частина повинна зберігати

працездатність?

7. Які результати вогневих випробувань лицевих частин вважаються позитивними?
8. Які результати вогневих випробувань ізолюючого костюму вважаються позитивними?
9. В чому суть визначення працездатності людини в КЗІЗ?
10. За якими показниками оцінюється функціональний стан газодимозахисника в КЗІЗ?
11. Розкрийте особливості проведення лабораторних досліджень КЗІЗ на людях.
12. Вкажіть задачі навантажувальних тестів.
13. Що таке “спеціальна працездатність”?
14. Які ви знаєте етапи полігонних випробувань?
15. Якою є мета полігонних випробувань?

9. ОБГРУНТУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ГАЗОДИМОЗАХИСНИКІВ У ЗАСОБАХ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ІЗОЛЮЮЧОГО ТИПУ

9.1. Визначення практичних рекомендацій щодо підготовки рятувальників до роботи в непридатному для дихання середовищі

Особливості визначення практичних рекомендацій за результатами підконтрольної експлуатації КЗІЗ розглянуті на прикладі аналізу результатів тактико-спеціальних навчань на станціях Харківського метрополітену глибокого закладення (див. розд. 8.6), тренування газодимозахисників порятунку потерпілих з вікна четвертого поверху, коли шляхи підйому на відповідний поверх по маршових драбинах є відрізнаними вогнем, а також тренувань у теплодимокамері.

Аналіз отриманих під час навчань у метрополітені результатів, деякі з котрих наведені на рис.8.5–8.8, показав, що вони не піддаються опису за допомогою нормального розподілу, внаслідок того, що показник скошеності розподілу j -ої оперативної операції

$$Sk_j = \frac{1}{n \cdot G_j^3} \cdot \sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_j)^3 \gg 0, \quad (9.1)$$

(де n – число незалежних дослідів, x_{ji} – результат i -го вимірювання j -го параметра, \bar{x}_j , G_j – відповідно оцінка його математичного очікування та середньоквадратичного відхилення) суттєво відрізняється від нуля.

Можна припустити, що за величиною показника скошеності j -ої оперативної операції (9.1) можна судити про рівень підготовленості особового складу до виконання цієї операції.

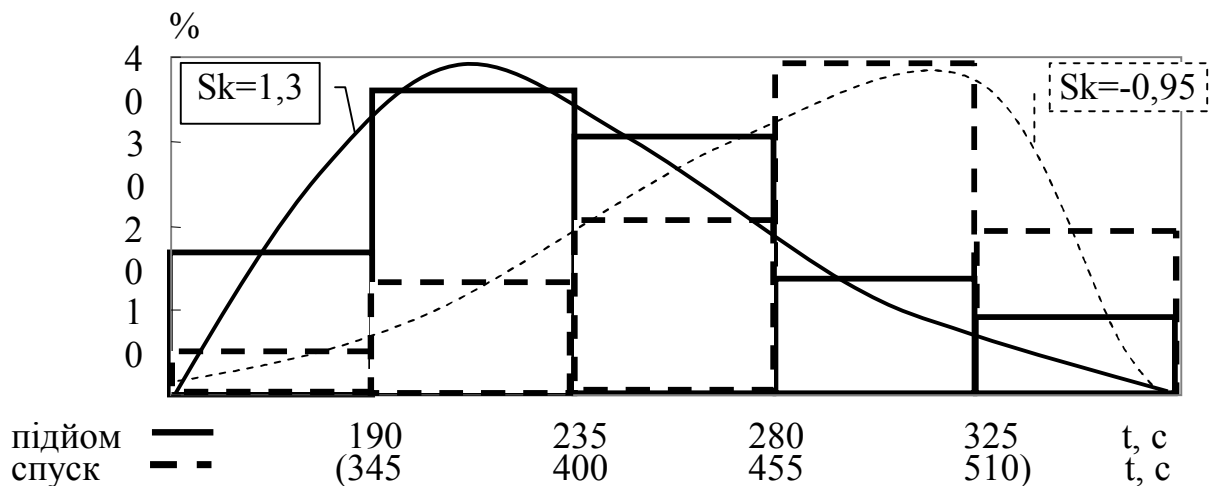


Рисунок 9.1 – Розподіл часу підйому (спуску) ланки

Чим більше позитивне значення розглянутого показника, тим більша кількість номерів оперативного розрахунку виконує розглянуту оперативну операцію з результатами, близькими до найкращого. Це свідчить про те, що подальша підготовка не дасть істотного поліпшення результатів. І навпаки, чим більше модуль цього показника для розподілів з негативною скошеністю, тим істотніше будуть поліпшуватися результати після тренування. Тобто, можна конкретизувати вправи та завдання для їх використання під час проведення практичних занять.

Так, серед результатів, що вимагають мінімального часу виконання, слід виділити підготовку ланки до роботи (оснащення його засобами страхівки і порятунки потерпілих, зв'язку, пожежно-технічним озброєнням, виконання оперативної перевірки дихальних апаратів і т.д.), показану на рис. 8.5 суцільною лінією. Розкид часу виконання цієї операції є дуже великим – 2,5–6 хв. У той же час у теплодимокамері при доброму знанні особовим складом своїх дій при підготовці до роботи (рис. 8.5, штрихова лінія) основна увага була приділена іншим операціям. Результати експериментів указали на необхідність підвищення уваги підготовці постового безпеки, розширення його обов'язків на початковому етапі роботи ланки.

Видно, що при підготовці особового складу газодимозахисної служби до гасіння пожеж у метрополітені основна увага повинна бути приділена удосконалення витривалості. Підтвердженням цього служать досить високі позитивні значення показника скошеності швидкості спуску і підйому (див. рис. 8.7), особливо з постраждалим, ланки ГДЗС (час підйому, відповідно, має явно виражену негативну скошеність: чим менше значення швидкості, тим більше час).

Аналіз часу приєднання рукава до пожежного крана (рис. 8.8) у нормальних умовах (суцільна лінія), в умовах відсутності видимості шляхом заклеювання непрозорим матеріалом стекол шолом-маски (штрихова лінія), після спуску на глибину 40 м (штрих-пунктирна лінія) свідчать про необхідність використання спеціальних вправ для тренування координаційних якостей на тлі втоми. Свідченням цього є велике негативне значення показника скошеності розподілу часу виконання відповідних операцій.

Окремо можна виділити такі операції, як виконання оперативних перевірок АСП (суцільна лінія на рис. 8.6) та РДА (штрихова лінія на рис. 8.6). Розподіл часу виконання як однієї, так й іншої операції має позитивну скошеність. Це є закономірним, оскільки ці операції виконуються перед кожним включенням в апарат (незалежно від того, будуть чи ні проводитись аварійно-рятувальні роботи в метрополітені) та, якщо оперативна робота не виконувалась в непридатному для дихання середовищі, тренуються не рідше одного разу на місяць.

Як типові операції, які виконуються газодимозахисниками на висоті, були обрані операції, які здійснює ланка ГДЗС у випадку порятунку потерпілих з вікна четвертого поверху, коли шляхи підйому на відповідний поверх по маршових драбинах є відрізними вогнем.

У зв'язку з останньою умовою ланка рухалась у вікно четвертого поверху по штурмових драбинах, які підвішувались «ланцюгом».

Особовий склад працював в ізолюючих апаратах. Перед особовим складом було поставлене завдання: провести відшукування та евакуацію постраждалих з четвертого поверху. При такій послідовності вирішення поставленого завдання обмеження, пов'язані з використанням чотириповерхової будівлі, істотно послаблюються, а отримані пропозиції можуть використовуватися і для підготовки ланок ГДЗС до робіт на поверхах, до яких не дістають існуючі автодрабини.

Отримані експериментальні дані були оброблені за допомогою стандартних статистичних методів. Деякі з отриманих результатів в узагальненому вигляді наведені на рисунках 9.1 – 9.2.

Порівняння розподілів часу підйому ланки у вікно четвертого поверху (див. суцільну лінію на рис. 9.1) і часу виконання завершальної операції розглянутого процесу (спуску з прибиранням драбин) (див. штрихову лінію на рис. 9.1) показало: у першому випадку скошеність розподілу була позитивною (це свідчить про те, що кожний, хто брав участь в експерименті, був досить координованим, сильним і професійно підготовленим), а у другому – негативною. З огляду на це, можна зробити висновок про необхідність звернути особливу увагу на вдосконалення витривалості рятувальників.

У той же час окремо необхідно розглядати випадок (див. рис. 9.2), коли рятувальники виконували екстремально-насичену операцію (страховка потерпілого у свідомості перед його спуском уздовж зовнішньої стіни багатоповерхового будинку за допомогою рятувальної мотузки).

Зокрема характерною особливістю розподілу часу виконання психологічно насичених операцій (зв'язування рятувальної петлі на людині, яка після цього буде евакуюватися за допомогою рятувальної мотузки вздовж зовнішньої стіни) добре підготовленим особовим складом (норматив виконання аналогічної операції, розподіл часу здійснення якої

наведено штриховою лінією на рис. 9.2, більшістю рятувальників відпрацьовується на добру й відмінну оцінку) є наявність двох вершин (див. суцільну лінію на рис. 9.2).

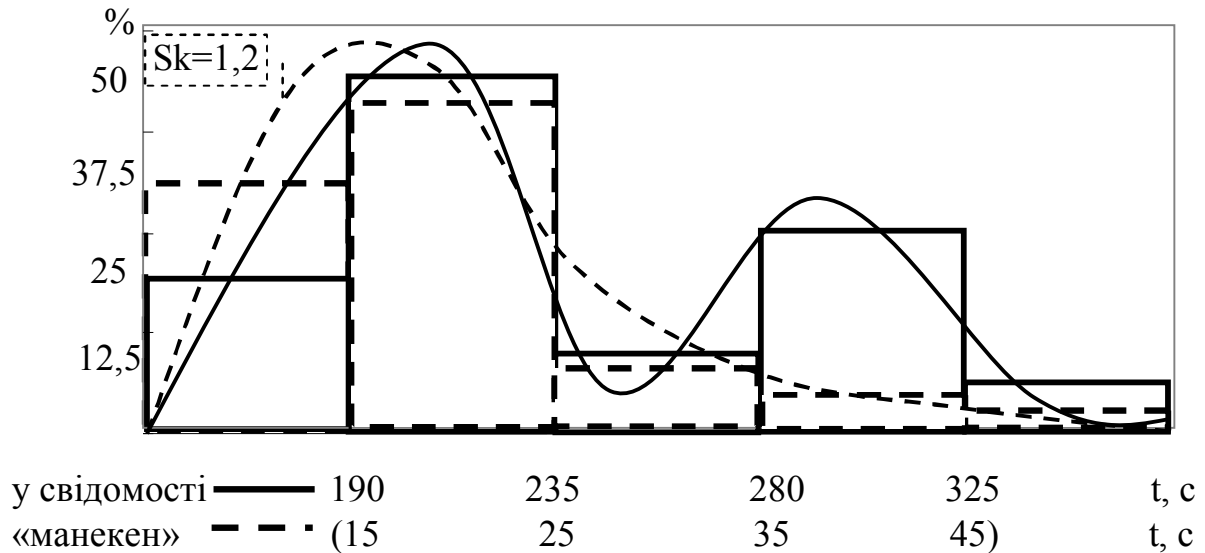


Рисунок 9.2 – Розподіл часу страхівки потерпілого

Аналіз отриманих результатів показав, що у деяких досліджуваних (близько 10–20%) нестандартна екстремальна ситуація різко погіршує результати виконання навіть добре відпрацьованих у ході підготовки спеціальних тактичних прийомів, не кажучи вже про ті операції, порядок виконання яких доведеться обирати самостійно, виходячи з конкретної обстановки. Аналогічна ситуація мала місце і в тому випадку, коли ми розглядали роботу газодимозахисників у підвальних та цокольних поверхах будівель. Для імітації умов, характерних для роботи особового складу ГДЗС, використовувалася гарнізонна теплодимокамера, яка складається з ділянок, що дозволяють моделювати діяльність газодимозахисників. За допомогою димової шашки забезпечувалась висока концентрація диму і, відповідно, обмежена видимість. Через динаміки відтворювався шум, властивий пожежі (обвалення конструкцій, крики потерпілих і тому подібне).

За умов ввідної пожежа охопила приміщення в підвалі будинку. Перед особовим складом стояла задача провести розвідку та після

виявлення в одному з приміщень потерпілого, роль якого виконував манекен, винести його на свіже повітря. Залежно від вказівок керівника експерименту виносився як безпосередньо манекен, так і один з членів ланки. Отримані експериментальні результати показали, що в цьому випадку першочергового тренування вимагають операції, які вимагають доброї здатності орієнтуватись у просторі.

Як і під час розгляду роботи газодимозахисників на висоті, із загальної сукупності розподілів виділявся розподіл часу виконання психологічно насиченої операції винесення «потерпілого у свідомості» по лабіринту. І в цьому випадку у деяких бійців (порядку 10 %) нестандартна екстремальна ситуація різко погіршує результати виконання операцій, до яких вони, коли працюють без екстремального навантаження, підготовлені добре.

Проведені розрахунки, в основі яких лежало обчислення критерію Колмогорова, показали, що у тому разі, коли має місце двоповерховий розподіл, з 10%-вим рівнем значущості його можна представити у вигляді суми двох незалежних розподілів

$$f(t) = \begin{cases} \frac{(t - t_{1\min})^{\alpha_1 - 1} \cdot (t_{1\max} - t)^{\beta_1 - 1}}{(t_{1\max} - t_{1\min})^{\alpha_1 + \beta_1 + 1} \cdot B(\alpha_1, \beta_1)} & \text{нпу } t_{1\min} \leq t < t_{1\max}; \\ \frac{(t - t_{2\min})^{\alpha_2 - 1} \cdot (t_{2\max} - t)^{\beta_2 - 1}}{(t_{2\max} - t_{2\min})^{\alpha_2 + \beta_2 + 1} \cdot B(\alpha_2, \beta_2)} & \text{нпу } t_{1\max} = t_{2\min} \leq t \leq t_{2\max}; \\ 0 & \text{нпу } t \leq t_{1\min}, t \leq t_{2\max}. \end{cases} \quad (9.2)$$

де $\alpha_{1(2)}, \beta_{1(2)}$ - параметри β -розподілів, що становлять загальний розподіл;

$B(\alpha_{1(2)}, \beta_{1(2)})$ - відповідні β -функції Ейлера;

$t_{1(2)\min}, t_{1(2)\max}$ - мінімальний та максимальний час виконання відповідної складової загального розподілу, с.

9.2. Обґрунтування особливостей розрахунку часу роботи в ізолюючих апаратах, які не розглянуто в керівних документах

9.2.1. Визначення часу роботи в апаратах на стисненому повітрі та регенеративних дихальних апаратах на стисненому кисню

9.2.1.1. Балони для зберігання запасу повітря або кисню

Це дозволяє вважати, що такі чинники, як підготовленість особового складу та екстремальність ситуації, впливають на час виконання психологічно насичених операцій, пов'язаних з рятуванням живих людей, фактично незалежно.

В нашій країні в апаратах на стисненому повітрі використовують балони місткістю від 3 до 9 літрів, а в регенеративних дихальних апаратах – від 0,4 до 2 літрів. Останні виготовляють з вуглецевої або легованої сталі. Вони розраховані на робочий тиск до 20 МПа. В резервуарних апаратах використовують як сталеві балони, так і балони з легованої сталі (у тому числі й такі, що мають склопластикову оплітку). Робочий тиск в останніх розрахований до 30 МПа.

Умовний запас газоповітряної суміші (повітря або кисню) в балоні визначають множенням місткості останнього на робочий тиск в МПа та збільшенням отриманого результату в десять разів. Фактичний запас газоповітряної суміші дещо відрізняється від умовного. Так, у дволітровому балоні регенеративного дихального апарата при тиску в 20 МПа за температури в 20⁰С та нормальних зовнішніх умов фактична кількість кисню дорівнює 416 л, тоді як умовна – 400 л. Це пояснюється тим що, за великих рівнів тиску (20 МПа та більше) реальні гази стискаються. За фактичним запасом газоповітряної суміші виконують розрахунок її балансу під час розробки та дослідження ізолюючих

апаратів.

Маса балона з киснем становить близько однієї третьої частини від загальної маси регенеративного дихального апарата. Значно більше це співвідношення в резервуарних апаратах, в яких воно не менше 80%. Для зменшення маси ізолюючих апаратів на сьогодні серійно випускаються полегшені балони з високолегованої сталі. Крім того, для зменшення маси балонів при збереженні заданої міцності корпуса їх виготовляють з більш тонкої сталі, ніж це вимагається за розрахунками, та армують міцною сталевною проволокою, яка навивається з великим натягінням.

При заміні проволоки склопластиковими джгутами отримують ще більше зниження маси балонів, оскільки щільність скловолокна, яке просочується епоксидною смолою та піддається полімеризації, майже у 4 рази менше густини сталі за високого рівня межі міцності. Зменшення маси балона при заміні сталевної проволоки склопластиковими джгутами за розрахунками досягає до 40%. Але треба мати на увазі те, що сварні балони з оплетенням зі склопластикових джгутів відзначаються підвищенням, у порівнянні з іншими балонами, рівнем вибухонебезпечності.

9.2.1.2. Особливості розрахунку часу роботи в непридатному для дихання середовищі в АСП та РДА

Серед загальних обов'язків особового складу газодимозахисної служби оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС України одним з найбільш важливих є вміння виконувати розрахунок часу t_p , який можна витратити на виконання оперативної роботи в непридатному для дихання середовищі.

Представимо схему руху ланки ГДЗС у вигляді, який наведено на рисунку 9.3.

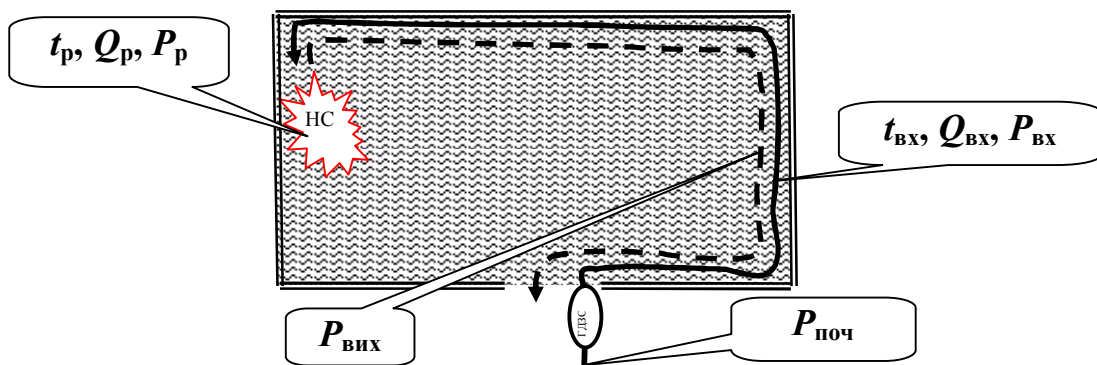


Рисунок 9.3 – Схема руху ланки ГДЗС

Наведені позначення мають наступний фізичний смисл:

$P_{поч}$ – початковий тиск (мінімальний тиск, який був у ланці в момент включення), МПа;

$P_{вих}$ – величина, на яку зменшився тиск під час руху до місця роботи, МПа;

P_p – величина, на яку може змінитися тиск під час роботи біля осередку надзвичайної ситуації, МПа;

$P_{вих}$ – контрольний тиск, за якого необхідно почати повернення, МПа;

$Q_{вх}$ – кількість повітря (кисню), яку необхідно витратити для руху до місця роботи, л;

Q_p – кількість повітря (кисню), яку можна витратити під час роботи біля осередку НС, л;

$t_{вх}$ – час руху до місця роботи, хв.;

t_p – розрахунковий час роботи біля місця НС, хв.

Особливо необхідно підкреслити те, що розрахунок показників, які пов'язані з роботою ланки в ізолюючих апаратах, ведеться по газодимозахиснику, в апараті якого має місце найбільша витрата повітря, або, якщо нема можливості це визначити, за апаратом, в якому міститься найменша кількість повітря!

При цьому в кожному конкретному випадку відомий тип апарата і його характеристики (в першу чергу об'єм балона V_6), а також початковий тиск $P_{\text{поч}}$, який був у балоні (балонах) на момент вмикання. Конструкція апарата також зумовлює показники максимального тиску повітря P_{max} ; мінімального тиску, за якого апарат може стояти на чергуванні P_{min} (в Настанові з ГДЗС він визначається таким, що є меншим за P_{max} на 10%); а також тиск $P_{\text{діт}}$, за якого спрацьовує додатковий індикатор тиску (вмикач резерву або звуковий сигнал).

Крім того, постовий на посту безпеки та командир ланки ГДЗС визначають, наскільки зменшується тиск у балонах під час $t_{\text{вх}}$ (який також фіксують) руху до осередку пожежі.

Оскільки відомі (див. розд. 1.3) рівні легеневої вентиляції $\omega_{\text{л}}$, що відповідають виконанню робіт різного ступеня важкості (у більшості випадків $\omega_{\text{л}}=30\text{--}40$ л/хв.), то, щоб забезпечити дихання газодимозахиснику під час входу $t_{\text{вх}}$, необхідно мати повітря у кількості:

$$Q_{\text{вх}} = t_{\text{вх}} \cdot \omega_{\text{л}}, [\text{л}] \quad (9.3)$$

Це стосується як резервуарних, так і регенеративних дихальних апаратів.

Розглянемо апарати на стисненому повітрі. Враховуючи закон Бойля–Маріотта, тиск $P_{\text{вх}}$, на який зменшиться початковий $P_{\text{поч}}$ за час входу $t_{\text{вх}}$, обчислюється наступним чином:

$$P_{\text{вх}} = \frac{Q_{\text{вх}} \cdot P_{\text{а}}}{V_6}, [\text{МПа}] \quad (9.4)$$

де $P_{\text{а}} \approx 0,1$ МПа – атмосферний тиск (тиск навколишнього середовища).

Тиск, який необхідно мати, щоб забезпечити нормальний вихід, $P_{\text{вих}}$ (його ще називають контрольним тиском, за якого необхідно почати повернення) повинен бути більше тиску $P_{\text{вх}}$, витраченого під час входу, на деякий рівень $P_{\text{рез}}$, що необхідно резервувати кожного разу. Тобто

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} \cdot [\text{МПа}] \quad (9.5)$$

$$(P_{\text{вих}} = 2 \cdot P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} - \text{при роботі з важкими навантаженнями})$$

При створенні апаратів на стисненому повітрі використовуються редуктори зворотної дії, для яких характерне (див. 4.2) збільшення тиску P_2 в камері редуктора у міру того, як тиск у балоні стає менше вказаного в експлуатаційній документації для забезпечення нормального режиму роботи $P_{\text{залиш}}$. Внаслідок цього зменшення тиску в балоні нижче нормативного рівня можна не враховувати і вважати, що

$$P_{\text{залиш}} = 0. \quad (9.6)$$

Таким чином, передбачається, що резервний тиск $P_{\text{рез}}$ може бути витрачений тільки на непередбачені випадки. Як правило, на цей рівень настроюють додатковий індикатор тиску в балоні(-ах). В АСВ-2, наприклад, вмикач резерву спрацьовує за $P_{\text{рез}} \approx 3$ МПа, а в АИР - 317(217) або апаратах на стисненому повітрі фірми "Дрегерверк" звуковий сигнал спрацьовує за $P_{\text{рез}} \approx 5$ МПа. Тобто визначення часових показників роботи в АСП ведеться з урахуванням того, що на момент виходу не повинен спрацювати додатковий індикатор тиску (вмикач резерву або звуковий сигнал), тобто в балонах повинно залишитись повітря із тиском $P_{\text{рез}}$.

При установці рівня $P_{\text{рез}}$ виходять з того, що час перебування в непередбачених обставинах $t_{\text{рез}}$ не буде тривати більше 5–10 хвилин. Так, для апаратів фірми „AUER”, які мають восьмилітровий балон:

$$t_{\text{рез}} = \frac{Q_{\text{рез}}}{\omega_{\text{л}}} = \frac{P_{\text{рез}} \cdot V_{\text{б}}}{\omega_{\text{л}} \cdot P_{\text{а}}} = \frac{5 \cdot 8}{40 \cdot 0,1} = 10 \text{ [хв.]} \quad (9.7)$$

Можна вважати, що

$$P_{\text{поч}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{р}} + P_{\text{вих}}, \text{ [МПа]} \quad (9.8)$$

При цьому треба мати на увазі, якщо початковий тиск $P_{\text{поч}}$ менше мінімального тиску $P_{\text{min}} = 0,9 \cdot P_{\text{max}}$, за якого ізолюючий апарат може стояти в оперативному розрахунку, то поставлене завдання виконати неможливо.

Тобто

$$P_{\text{р}} = P_{\text{поч}} - P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}} \text{ [МПа]} \quad (9.9)$$

Зрозуміло, що (9.8) і (9.9) мають місце як при роботі в апаратах на стисненому повітрі, так і в регенеративних дихальних апаратах.

Згідно із законом Бойля–Маріотта, можна передбачати, що під час $t_{\text{р}}$ безпосереднього виконання оперативної роботи в непридатному для дихання середовищі буде витрачено повітря з балона у кількості:

$$Q_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}} \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}}}, \text{ [л]} \quad (9.10)$$

Можна передбачити, що час $t_{\text{р}}$ не повинен бути більшим за

$$t_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{р}}}{\omega_{\text{л}}} = \frac{P_{\text{р}} \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot \omega_{\text{л}}}. \text{ [хв.]} \quad (9.11)$$

Використовуючи вищенаведений підхід, крім співвідношень, які доцільно використовувати особовому складу газодимозахисної служби, можна оцінити і деякі конструктивні характеристики. Так, знаючи матеріал, із якого передбачається виготовлення балона, і, відповідно, максимальний робочий тиск P_{\max} в ньому, а також передбачуваний загальний час захисної дії t_3 апарата, можна зробити висновок щодо об'єму балона (балонів):

$$V_6 = \frac{P_a \cdot t_3 \cdot \omega_{\text{л}}}{P_{\max}} \cdot [\text{л}] \quad (9.12)$$

І, навпаки, при відомих вимогах до загального часу захисної дії t_3 і об'єму балона V_6 , вимоги до матеріалу обираються такими, щоб забезпечити

$$P_{\text{поч}} = \frac{P_a \cdot t_3 \cdot \omega_{\text{л}}}{V_6}, [\text{МПа}] \quad (9.13)$$

Подібним чином можна підійти і до розгляду регенеративних дихальних апаратів. Проте при цьому необхідно враховувати те, що оскільки цикл дихання замкнутий (див. розд. 3.4), подача кисню з балона повинна бути такою, щоб компенсувати кисень, який витрачається у процесі дихання.

З цього випливає, що на початку роботи в апараті необхідно мати запас кисню:

$$Q_{\text{поч}O_2} = q \cdot t_3, [\text{л}] \quad (9.14)$$

який має бути стисненим до рівня P_3 , що забезпечить заданий час t_3

захисної дії:

$$P_3 = \frac{Q_{\text{поч } O_2} \cdot P_a}{V_6}, \text{ [МПа]} \quad (9.15)$$

В КИП-8М, який має однолітровий балон і дві години захисної дії, при виконанні роботи середнього ступеня важкості:

$$Q_{\text{поч } O_2} = 1,4 \cdot 120 = 168 \approx 170, \text{ [л]} \quad (9.16)$$

і, відповідно, кисень має бути стисненим до рівня:

$$P_3 (\text{КИП} - 8) = \frac{170 \cdot 0,1}{1} = 17,0, \text{ [МПа]} \quad (9.17)$$

Але треба пам'ятати, що при створенні регенеративних дихальних апаратів для забезпечення постійної подачі використовують як редуктори зворотної дії, так і редуктори прямої дії (див. розд. 6.3). Нормальна робота останніх забезпечується при тиску кисню в балоні P_6 , який повинен бути більше деякого залишкового $P_{\text{залиш}}$:

$$P_6 \geq P_{\text{залиш}}, \text{ [МПа]} \quad (9.18)$$

Звичайно, що при використанні редукторів зворотної дії, як було відмічено раніше (див. розд. 6.3), можна вважати, що $P_{\text{залиш}} = 0$.

Тобто максимальний тиск кисню в балоні РДА має бути не менше

$$P_{\text{max } O_2} \geq P_3 + P_{\text{залиш}}, \text{ [МПа]} \quad (9.19)$$

Наприклад, для КИП-8, який обладнано редуктором прямої дії, що забезпечує нормативний рівень тиску в камері редуктора (0,4–0,58 МПа) у тому випадку, коли тиск кисню в балоні знаходиться в межах від 20 до 3 МПа, вважається, що $P_{\text{залиш}}(\text{КИП-8}) = 3 \text{ МПа}$. Тобто початковий тиск в балоні $P_{\text{поч}}(\text{КИП-8})$ повинен також перебуває в межах:

$$\begin{aligned} P_{\text{залиш}}(\text{КИП-8}) = 3 \text{ МПа} &\leq P_{\text{поч}}(\text{ККИ-8}) \leq \\ &\leq P_3(\text{КИП-8}) + P_{\text{залиш}}(\text{КИП-8}) = \\ &= 17 + 3 = 20 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (9.20)$$

Аналогічне співвідношення має місце для початкового тиску кисню в балоні і в загальному випадку:

$$P_{\text{лиш}} \leq P_{\text{поч}} \leq P_3 + P_{\text{залиш}} \cdot [\text{МПа}] \quad (9.21)$$

Як і для апаратів на стисненому повітрі, дійсним є співвідношення (9.8). Показник подачі кисню q можна вважати відомою величиною, оскільки, як було відмічено у р.4, для регенеративних дихальних автоматів на стисненому кисню, конструкція котрих передбачає постійну подачу q , під час перебування у спокої та при виконанні легкої роботи та роботи середнього ступеня важкості $q = q_{\text{с}} \approx 1,4 \text{ л/хв}$. В інших випадках (який і рекомендується в більшості випадків), коли має місце поєднання постійної та легенево-автоматичної подач

$$q = q_{\text{с}} + q_{\text{л/а}} \approx 2 \text{ л/хв}. \quad (9.22)$$

За час $t_{\text{вх}}$ прямування до місця оперативної роботи тиск кисню в балоні зменшиться на:

$$P_{\text{вх}} = \frac{t_{\text{вх}} \cdot q \cdot P_{\text{а}}}{V_6} \cdot [\text{МПа}] \quad (9.23)$$

На випадок виникнення непередбачених обставин Настанова з газодимозахисної служби нормує розмір того тиску, який необхідно резервувати:

$$P_{\text{рез}} = \frac{P_{\text{вх}}}{2} \cdot [\text{МПа}] \quad (9.24)$$

У випадку роботи в метрополітені або інших спорудах, які мають складні конструктивно-планувальні рішення та значні розміри, цей рівень рекомендується приймати як

$$P_{\text{рез}} = P_{\text{вх}} \cdot [\text{МПа}] \quad (9.25)$$

Тобто, враховуючи (9.18), мінімальний тиск, за якого необхідно почати повернення з місця оперативної роботи, повинен бути (у більшості випадків):

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + \frac{P_{\text{вх}}}{2} + P_{\text{залиш}} \cdot [\text{МПа}] \quad (9.26)$$

Для КИП-8М, наприклад, він розраховується як:

$$P_{\text{вих}} = 1,5 \cdot P_{\text{вх}} + 3, [\text{МПа}] \quad (9.27)$$

а для Р-12 (30, 34...)

$$P_{\text{вих}} = 1,5 \cdot P_{\text{вх}} \cdot [\text{МПа}] \quad (9.28)$$

Але, враховуючи практичні вимоги Настанови з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України, додатково приймаємо резервний тиск у кількості 3 МПа. Тобто відношення (9.28) буде мати вигляд для Р-12 (30, 34, 35):

Для звичайних умов роботи:

$$P_{\text{вих}} = 1,5 \cdot P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 1,5 \cdot P_{\text{вх}} + 3. \quad (9.29)$$

Для звичайних умов роботи:

$$P_{\text{вих}} = 2 \cdot P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 2 \cdot P_{\text{вх}} + 3. \quad (9.30)$$

Таким чином, для виконання оперативної роботи в непридатному для дихання середовищі можна витратити час, який не повинен перевищувати

$$t_p = \frac{Q_{\text{pO}_2}}{q} = \frac{P_p \cdot V_b}{P_a \cdot q} = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}}) \cdot V_b}{P_a \cdot q}, [\text{хв.}] \quad (9.31)$$

де Q_{pO_2} – кількість кисню (л), яку передбачається витратити з балона для регенерації повітря у повітропровідній системі регенеративного дихального апарата під час виконання оперативної роботи.

Стосовно загальних підходів до визначення часу роботи треба мати на увазі, що в різних країнах мають місце різні підходи до визначення

тиску газоповітряної суміші, за якого необхідно починати повернення, та конкретних кількісних характеристик як самого дихального апарата, так і показників дихання газодимозахисника. Проте в основі – загальна ідея стосовно того, що часові характеристики роботи в ізолюючих апаратах визначаються ступенем важкості роботи (і, відповідно, визначеними показниками витрати газоповітряної суміші), а також тим, що газодимозахисник повинен передбачити можливість роботи за непередбачених обставин.

При цьому треба мати на увазі, що загальні підходи стають другорядними, якщо в керівних документах або заводській документації наведені конкретні вимоги щодо визначення часових та інших характеристик роботи в ізолюючих апаратах. Наприклад, в Російській Федерації необхідно враховувати коефіцієнт стискання повітря (вважається, що при тиску 30,0 МПа він дорівнює 1,1 – тобто реальний запас повітря буде в 1,1 менше того, який визначається відповідно до (1.2) закону Бойля–Маріотта).

Приклади розв'язання типових задач:

1. За якого тиску необхідно почати повернення, якщо під час входу тиск в апараті зменшився на 4 МПа (40 кгс/см²)?

а) якщо розглядається АСВ-2 із вмикачем резерву ($P_{рез}=3$ МПа (30 кгс/см²))
- під час роботи у звичайних умовах

$$P_{вих} = P_{вх} + P_{рез} = 4 + 3 = 7 \text{ МПа,}$$

- під час роботи з великим навантаженням

$$P_{вих} = 2 \cdot P_{вх} + P_{рез} = 2 \cdot 4 + 3 = 11 \text{ МПа,}$$

б) якщо розглядається будь-який інший апарат на стисненому повітрі
– під час роботи у звичайних умовах

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 4 + 5 = 9 \text{ МПа},$$

- під час роботи з тяжким навантаженням

$$P_{\text{вих}} = 2 \cdot P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 2 \cdot 4 + 5 = 13 \text{ МПа},$$

в) якщо розглядається РДА КИП-8
- під час роботи у звичайних умовах

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + \frac{P_{\text{вх}}}{2} + P_{\text{залиш}} = 4 + \frac{4}{2} + 3 = 9 \text{ МПа}$$

- під час роботи в метрополітені

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{вх}} + P_{\text{залиш}} = 4 + 4 + 3 = 11 \text{ МПа}$$

г) якщо розглядається РДА Р-30
- під час роботи у звичайних умовах

$$P_{\text{вих}} = 1,5 \cdot P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 1,5 \cdot P_{\text{вх}} + 3 = 1,5 \cdot 4 + 3 = 9 \text{ МПа}$$

- під час роботи в метрополітені

$$P_{\text{вих}} = 2 \cdot P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 2 \cdot P_{\text{вх}} + 3 = 2 \cdot 4 + 3 = 11 \text{ МПа}$$

2. Визначити контрольний тиск, за якого необхідно почати повернення

ланки ГДЗС, що працює в АСП AUER BD96, якщо при включенні газодимозахисників до апаратів у них був наявний тиск 270, 290 та 300 бар, а за час входу він зменшився до 240, 250 та 240 відповідно.

1) Визначити, на скільки зменшився тиск за час входу в кожному апараті

$$P_{\text{вх}1} = P_{\text{поч}1} - P_{\text{зал}1} = 270 - 240 = 30 \text{ бар}$$

$$P_{\text{вх}2} = P_{\text{поч}2} - P_{\text{зал}2} = 290 - 250 = 40 \text{ бар}$$

$$P_{\text{вх}3} = P_{\text{поч}3} - P_{\text{зал}3} = 300 - 240 = 60 \text{ бар}$$

2) Визначити величину, на яку зменшився тиск під час руху до місця роботи, що буде використовуватись для розрахунку контрольного тиску виходу (визначається за апаратом того газодимозахисника, у якого мало місце найбільше падіння тиску)

$$P_{\text{вх}} = \max_i(P_{\text{вх}i}) = 60 \text{ бар}$$

3) Визначити контрольний тиск виходу ланки (оскільки тиск у барах вимірюється тільки в закордонних апаратах, то $P_{\text{рез}}=50$ бар)

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 60 + 50 = 110 \text{ бар}$$

3. Визначити час роботи біля осередку надзвичайної ситуації в АСП АИР-317 ($V_6=7$ л; $P_{\text{рез}}=5$ МПа), якщо під включення тиск повітря в апараті становив 27 МПа, а на рух до осередку передбачається витратити 7 хвилин. *Оскільки характер роботи не вказаний, вважаємо, що передбачається виконання звичайної роботи ($\omega_{\text{л}} \approx 30$ л/хв.).*

1) Визначити кількість повітря, яка буде витрачена за час входу

$$Q_{\text{вх}} = t_{\text{вх}} \cdot \omega_{\text{л}} = 7 \cdot 30 = 210 \text{ л.}$$

2) Визначити, на скільки зменшиться тиск в апараті за час входу

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{а}} \cdot Q_{\text{вх}}}{V_{\text{б}}} = \frac{0,1 \cdot 210}{7} = 3 \text{ МПа.}$$

3) Визначити контрольний тиск виходу

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 3 + 5 = 8 \text{ МПа.}$$

4) Визначити, на скільки може зменшитись тиск за час роботи біля осередку надзвичайної ситуації

$$P_{\text{р}} = P_{\text{поч}} - P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}} = 27 - 3 - 8 = 16 \text{ МПа.}$$

5) Визначити, на скільки може зменшитись запас повітря за час роботи біля осередку надзвичайної ситуації

$$Q_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}} \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}}} = \frac{16 \cdot 7}{0,1} = 1120 \text{ л.}$$

6) Визначити розрахунковий час роботи

$$t_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{р}}}{\omega_{\text{л}}} = \frac{1120}{30} \approx 37 \text{ хв.}$$

4. Визначити час роботи біля осередку надзвичайної ситуації в РДА Р-30 ($V_{\text{б}}=2\text{л}$; $P_{\text{рез}}= 3 \text{ МПа}$), якщо під включення тиск кисню в апараті становив

18 МПа, а на рух до осередку передбачається витратити 17 хвилин.

Оскільки характер роботи не вказаний, вважаємо, що передбачається виконання звичайної роботи ($q \approx 2$ л/хв.).

1) Визначити кількість кисню, яка буде витрачена за час входу

$$Q_{\text{вх}} = t_{\text{вх}} \cdot q = 17 \cdot 2 = 34 \text{ л.}$$

2) Визначити, на скільки зменшиться тиск в апараті за час входу

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{а}} \cdot Q_{\text{вх}}}{V_{\text{б}}} = \frac{0,1 \cdot 34}{2} = 1,7 \text{ МПа.}$$

3) Визначити контрольний тиск виходу

$$P_{\text{вих}} = 1,5 \cdot P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 1,5 \cdot P_{\text{вх}} + 3 = 1,5 \cdot 1,7 + 3 = 5,55 \text{ МПа.}$$

4) Визначити, на скільки може зменшитись тиск за час роботи біля осередку надзвичайної ситуації

$$P_{\text{р}} = P_{\text{поч}} - P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}} = 18 - 1,7 - 5,55 = 10,75 \text{ МПа.}$$

5) Визначити, на скільки може зменшитись запас кисню за час роботи біля осередку надзвичайної ситуації

$$Q_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}} \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}}} = \frac{10,75 \cdot 2}{0,1} = 215 \text{ л.}$$

6) Визначити розрахунковий час роботи

$$t_p = \frac{Q_p}{q} = \frac{215}{2} \approx 107,5 \text{ хв.}$$

5. Визначити, яким повинен бути тиск в апараті АСП АВХ ($V_6=8\text{л}$; $P_{\text{рез}}=50 \text{ кгс/см}^2$; $P_{\text{max}}=270 \text{ кгс/см}^2$), якщо передбачається витратити на рух до осередку надзвичайної ситуації 10 хвилин, а на роботу біля осередку – 50 хвилин.

1) Визначити кількість повітря, яка буде витрачена за час входу

$$Q_{\text{вх}} = t_{\text{вх}} \cdot \omega_{\text{л}} = 10 \cdot 30 = 300 \text{ л.}$$

2) Визначити, на скільки зменшиться тиск в апараті за час входу

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_a \cdot Q_{\text{вх}}}{V_6} = \frac{1 \cdot 300}{8} = 37,5 \text{ кгс/см}^2.$$

3) Визначити контрольний тиск виходу

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 37,5 + 50 = 87,5 \text{ кгс/см}^2.$$

4) Визначити кількість повітря, яка буде витрачена за час роботи біля осередку надзвичайної ситуації

$$Q_{\text{роб}} = t_{\text{роб}} \cdot \omega_{\text{л}} = 50 \cdot 30 = 1500 \text{ л.}$$

5) Визначити, на скільки зменшиться тиск в апараті за час за час роботи біля осередку

$$P_{\text{роб}} = \frac{P_a \cdot Q_{\text{роб}}}{V_6} = \frac{1 \cdot 1500}{8} = 187,5 \text{ кгс/см}^2.$$

б) Визначити, яким повинен бути тиск в апараті

$$P_{\text{поч}} = P_{\text{вх}} + P_p + P_{\text{вих}} = 37,5 + 187,5 + 87,5 = 312,5 \text{ кгс/см}^2.$$

Оскільки розрахунковий тиск повітря в апараті більше того, який може бути в ньому відповідно до тактико-технічних характеристик, поставлене завдання виконати неможливо. Оскільки визначений тиск на 32,5 кгс/см² більше того, який може бути, а це відповідає запасу повітря 260 л, час роботи біля осередку надзвичайної ситуації повинен бути на 9 хвилин менше того, який вказано в початкових умовах. Тобто розрахунковий час роботи біля осередку не повинен бути більше 41 хвилини.

6. Визначити, яким повинен бути тиск в апараті РДА Р-30 ($V_6=2\text{л}$; $P_{\text{рез}}=30 \text{ кгс/см}^2$; $P_{\text{max}}=200 \text{ кгс/см}^2$), якщо передбачається витратити на рух до осередку надзвичайної ситуації в метрополітені 20 хвилин, а на роботу біля осередку – 60 хвилин. Буде важка робота в метрополітені.

1) Визначити кількість кисню, яка буде витрачена за час входу

$$Q_{\text{вх}} = t_{\text{вх}} \cdot q = 20 \cdot 2 = 40 \text{ л.}$$

2) Визначити, на скільки зменшиться тиск в апараті за час входу

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_a \cdot Q_{\text{вх}}}{V_6} = \frac{1 \cdot 40}{2} = 20, \text{ кгс/см}^2.$$

3) Визначити контрольний тиск виходу, враховуючи те, що робота виконується в метрополітені,

$$P_{\text{вих}} = 2 \cdot P_{\text{вх}} + P_{\text{рез}} = 2 \cdot P_{\text{вх}} + 3 = 2 \cdot 20 + 30 = 70 \text{ кгс/см}^2.$$

4) Визначити кількість кисню, яка буде витрачена за час роботи біля осередку надзвичайної ситуації

$$Q_{\text{роб}} = t_{\text{роб}} \cdot q = 60 \cdot 2 = 120 \text{ л.}$$

5) Визначити, на скільки зменшиться тиск в апараті за час за час роботи біля осередку

$$P_{\text{роб}} = \frac{P_a \cdot Q_{\text{роб}}}{V_6} = \frac{1 \cdot 120}{2} = 60 \text{ кгс/см}^2.$$

6) Визначити, яким повинен бути тиск в апараті

$$P_{\text{поч}} = P_{\text{вх}} + P_p + P_{\text{вих}} = 20 + 60 + 70 = 150 \text{ кгс/см}^2.$$

9.2.1.3. Спрощені розрахунки часу роботи в АСП та РДА

В основі спрощених розрахунків лежить перехід від застосування показника легеневої вентиляції (i , відповідно, подачі кисню для РДА) до швидкості падіння тиску в балонах. Цьому сприяє те, що ізолюючий апарат, в якому працює газодимозахисник, має конкретну конструкцію з визначеним V_6 об'ємом балона (для зберігання повітря в АСП або кисню – в РДА). Внаслідок чого, враховуючи (1.2) закон Бойля–Маріота та

відносно постійний ($\approx 0,1$ МПа) рівень P_a атмосферного тиску (див. 1.2), для АСП можна записати

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_6} = \frac{\omega_l}{V_6} \cdot P_a. \quad (9.32)$$

Враховуючи те, що показник легеневої вентиляції для розрахунків рекомендується розглядати у випадках, коли ступінь важкості роботи є невідомим, то приймаємо її 40 л/хв., а об'єм балонів для АСВ-2 дорівнює 8 літрам, вираз (9.32) набуває конкретного значення

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} \approx \frac{40}{8} \cdot 0,1 \approx 0,5 \text{ МПа/хв.} \approx 5 \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{хв.}} \approx 5 \frac{\text{бар}}{\text{хв.}}. \text{ (для АСВ-2)} \quad (9.33)$$

Міркуючи аналогічно, можна показати, що для АСВ-2 під час виконання легкої роботи ($\omega_l \approx 20$ л/хв.) швидкість падіння тиску буде дорівнювати приблизно 0,3 МПа/хв., а під час виконання важкої ($\omega_l \approx 60$ л/хв.) – 0,7 МПа/хв. Тобто

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} \approx \begin{cases} 3 \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{хв.}} - \text{під час виконання легкої роботи}; \\ 5 \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{хв.}} - \text{під час виконання роботи} \\ \text{середнього ступеня важкості}; \\ 7 \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{хв.}} - \text{під час виконання важкої роботи}. \end{cases} \quad (9.34)$$

Для інших апаратів, згідно Настанови з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України, приймаємо:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} \approx \frac{40}{6} \cdot 0,1 \approx 0,7 \text{ МПа/хв.} \approx 7 \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{хв.}} \approx 7 \frac{\text{бар}}{\text{хв.}} \quad (9.35)$$

Об'єм балонів при цьому дорівнює 6 літрам, тому що в поширених на території України закордонних апаратах Dräger PA-92 та "AUER" BD 96 $V_6 = 6 \text{ л.}$

Міркуючи аналогічно, можна показати, що під час виконання легкої роботи ($\omega_{\text{л}} \approx 20 \text{ л/хв.}$) швидкість падіння тиску буде дорівнювати приблизно 0,4 МПа/хв., а під час виконання важкої ($\omega_{\text{л}} \approx 60 \text{ л/хв.}$) – 1,0 МПа/хв. Тобто

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} \approx \begin{cases} 4 \frac{\text{бар}}{\text{хв.}} - \text{під час виконання легкої роботи;} \\ 7 \frac{\text{бар}}{\text{хв.}} - \text{під час виконання роботи середньої важкості;} \\ 10 \frac{\text{бар}}{\text{хв.}} - \text{під час виконання важкої роботи.} \end{cases} \quad (9.36)$$

Якщо треба, аналогічним чином можна розробити рекомендації щодо спрощених розрахунків для кожного конкретного апарата на стисненому повітрі.

Вираз (9.32) для РДА має вигляд

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_6} = \frac{q}{V_6} \cdot P_a. \quad (9.37)$$

Враховуючи (9.32), для РДА з кисневими балонами, які мають об'єм 1 л, під час спрощених розрахунків можна вважати, що

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{q}{V_6} \cdot P_a \approx \frac{2}{1} \cdot 0,1 = 0,2 \text{ МПа/хв.} \approx 2 \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{хв.}}, \quad (9.38)$$

а з дволітровими балонами –

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{q}{V_6} \cdot P_a \approx \frac{2}{2} \cdot 0,1 = 0,1 \text{ МПа/хв.} \approx 1 \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{хв.}}. \quad (9.39)$$

Визначення *розрахункового часу повернення* та *розрахункового часу припинення розвідки* (поряд із контрольним тиском, за якого необхідно починати повернення, є одними з найбільш важливих показників, розрахунок яких ведеться постовим на посту безпеки) при розгляді апаратів на стисненому повітрі відбувається з урахуванням того, що на момент виходу не повинен спрацювати додатковий індикатор тиску (вмикач резерву або звуковий сигнал). Тобто час на вхід, роботу та вихід можна розрахувати як

$$t_{(\text{ввхідробота, вихід})} = \frac{\min(P_{\text{і поч}}) - P_{\text{рез}}}{\Delta P / \Delta t}. \quad (9.40)$$

Відповідно, розрахунковий час повернення ланки з урахуванням моменту, в який відбулось включення до апаратів $t_{\text{вкл}}$ визначається як

$$t_{\text{пов}}(\text{АСП}) = t_{\text{вкл}} + t_{(\text{ввхідробота, вихід})} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{\text{і поч}}) - P_{\text{рез}}}{\Delta P / \Delta t}. \quad (9.41)$$

При визначенні контрольного тиску $P_{\text{вх}}$ та часу $t_{\text{розв}}$, за якого ланці необхідно припинити розвідку, вважається, що робота біля осередку

надзвичайної ситуації не передбачається. Тобто

$$P_{\text{вх}} = \frac{\min(P_{\text{і поч}}) - P_{\text{рез}}}{2}, \quad (9.42)$$

$$t_{\text{розв}} = t_{\text{вкл}} + \frac{P_{\text{вх}}}{\Delta P / \Delta t} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{\text{і поч}}) - P_{\text{рез}}}{2}. \quad (9.43)$$

Для регенеративних дихальних апаратів, оскільки тиск $P_{\text{рез}}$, який необхідно резервувати на непередбачені обставини, пов'язаний з величиною $P_{\text{вх}}$, на яку зменшився тиск під час руху до місця роботи, можна визначити, враховуючи залишковий тиск $P_{\text{залиш}}=3$ МПа (30 кгс/см²) (для апаратів КИП-8) (або згідно Настанови з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України, тільки найпізніший час повернення $P_{\text{рез}}=3$ МПа (30 кгс/см²) для апаратів Р-30)

$$t_{\text{пов}}^{\text{РДА}} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{\text{і поч}}) - P_{\text{залиш}}}{\Delta P / \Delta t}. \quad (9.44)$$

При цьому вважається, що в момент повернення ніякого запасу кисню на непередбачені обставини не залишиться. Тобто в РДА розрахунковий час повернення визначається в момент $t_{\text{вкл}}+t_{\text{вх}}$, коли ланка завершила просування до місця НС і приступила до виконання робіт біля осередку

$$\begin{aligned}
 t_{\text{пов}}(PДА) &= t_{\text{вкл}} + t_{\text{вх}} + t_{(\text{робота, вихід})} = \\
 &= t_{\text{вкл}} + t_{\text{вх}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - \max(P_{i \text{ вх}}) - P_{\text{лиш}}}{\Delta P / \Delta t}
 \end{aligned}
 \tag{9.45}$$

В той же час при визначенні контрольного тиску $P_{\text{вх}}$ та часу $t_{\text{розв}}$, за якого ланці в РДА необхідно припинити розвідку, можна врахувати те, що (для звичайних умов)

$$P_{\text{поч}} = P_{\text{вх}} + 1,5 \cdot P_{\text{вх}} - P_{\text{залиш}} = 2,5 \cdot P_{\text{вх}} - P_{\text{залиш}}.
 \tag{9.46}$$

Звідки

$$P_{\text{вх}}^{\text{звич}}(PДА) = \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{залиш}}}{2,5},
 \tag{9.47}$$

$$t_{\text{розв}}^{\text{звич}} = t_{\text{вкл}} + \frac{P_{\text{вх}}}{\Delta P / \Delta t} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{залиш}}}{2,5 \cdot \Delta P / \Delta t}.
 \tag{9.48}$$

Для випадку, коли ланка в РДА працює в метрополітені або інших спорудах, які мають складні конструктивно-планувальні рішення та значні розміри, аналогічні міркування дозволяють отримати

$$P_{\text{вх}}^{\text{М}} = \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{залиш}}}{3},
 \tag{9.49}$$

$$t_{\text{вх}}^{\text{М}} = t_{\text{вкл}} + \frac{P_{\text{вх}}}{\Delta P / \Delta t} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{залиш}}}{3 \cdot \Delta P / \Delta t}.
 \tag{9.50}$$

Таким чином, використання визначених показників швидкості падіння тиску (9.41), (9.48), (9.50) дозволяє суттєво спростити виконання розрахунків постовим на посту безпеки.

Приклади розв'язання типових задач:

1. Визначити розрахунковий час повернення ланки, якщо при включенні до АСВ-2 із вмикачем резерву о 20 годині 15 хвилин у газодимозахисників був тиск 18, 19 та 20 МПа.

Час повернення визначається для газодимозахисника, в балонах якого повітря знаходиться під найменшим, у порівнянні з іншими, тиском. Оскільки вихідні дані щодо тиску наведені в МПа, а характер роботи, яку буде виконувати особовий склад, не вказано, вважаємо, що швидкість зменшення тиску дорівнює 0,5 МПа/хв., а запас повітря на непередбачені обставини визначається тиском, за якого спрацьовує вмикач резерву (3 МПа)

$$t_{\text{пов}}(\text{АСВ} - 2) = t_{\text{вкл}} + t_{(\text{ввхід робота, вихід})} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{\text{і поч min}}) - P_{\text{рез}}}{\Delta P / \Delta t} =$$

$$= 20 \text{ год.} 15 \text{ хв.} + \frac{18 - 3}{0,5} = 20 \text{ год.} 15 \text{ хв.} + 30 \text{ хв.} = 20 \text{ год.} 45 \text{ хв.}$$

2. Визначити контрольний тиск та час, за якого ланці ГДЗС необхідно припинити розвідку, якщо при включенні газодимозахисників до АСП о 23 годині 50 хвилин, у них був тиск 260, 270 та 280 бар.

$$t_{\text{пов}}(\text{АСП}) = t_{\text{вкл}} + t_{(\text{ввхід робота, вихід})} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{\text{і поч min}}) - P_{\text{рез}}}{\Delta P / \Delta t} =$$

$$= 23 \text{ год.} 50 \text{ хв.} + \frac{260 - 50}{7} = 23 \text{ год.} 50 \text{ хв.} + 30 \text{ хв.} = 00 \text{ год.} 20 \text{ хв.}$$

3. Визначити найпізніший час повернення ланки, якщо при включенні до КИП-8 о 20 годині 15 хвилин у газодимозахисників був тиск 180, 190 та 200 кгс/см².

$$t_{\text{розв}}^{\text{звич}} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{лиш}}}{\Delta P / \Delta t} = 20 \text{ год.} 15 \text{ хв.} + \frac{180 - 30}{2} =$$

$$= 20 \text{ год.} 15 \text{ хв.} + 75 = 21 \text{ год.} 30 \text{ хв.}$$

4. Визначити розрахунковий час повернення ланки, якщо при включенні до Р-30 о 15 год. 00 хв. у газодимозахисників був тиск 18, 19 та 20 МПа.

$$t_{\text{розв}}^{\text{звич}} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{рез}}}{\Delta P / \Delta t} = 15 \text{ год.} 00 \text{ хв.} + \frac{18 - 3}{0,1} =$$

$$= 15 \text{ год.} 00 \text{ хв.} + 150 \text{ хв.} = 17 \text{ год.} 30 \text{ хв.}$$

5. Визначити контрольний тиск та час, за якого ланці ГДЗС необхідно припинити розвідку в метрополітені, якщо при включенні газодимозахисників до Р-30 о 23 годині 50 хвилин у них був тиск 200, 190 та 180 кгс/см².

$$t_{\text{розв}}^{\text{"М"}} = t_{\text{вкл}} + \frac{P_{\text{вх}}}{\Delta P / \Delta t} = t_{\text{вкл}} + \frac{\min(P_{i \text{ поч}}) - P_{\text{рез}}}{3 \cdot \Delta P / \Delta t} = 23 \text{ год.} 50 \text{ хв.} + \frac{180 - 30}{3 \cdot 1} =$$

$$= 23 \text{ год.} 50 \text{ хв.} + 50 \text{ хв.} = 00 \text{ год.} 40 \text{ хв.}$$

9.2.1.4. Особливості розрахунків на посту безпеки під час роботи в АСП при ліквідації надзвичайних ситуацій в метрополітені

Актуальність визначення цих особливостей пояснюється тим, що, з одного боку, чинні керівні документи вимагають, щоб під час проведення аварійно-рятувальних робіт в метрополітені особовий склад використовував тільки РДА; з іншого ж боку, практично всі пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС, які першими прибувають до місця надзвичайної ситуації, озброєні апаратами на стисненому повітрі. Це ставить питання підвищення безпеки газодимозахисників, оскільки час захисної дії АСП значно менше часу захисної дії РДА.

В 9.2.1.2 відзначено, що при роботі в АСП мінімальний тиск у балонах на момент початку виходу $P_{\text{вих}}$ розраховується як (9.5). В той же час, якщо врахувати різницю у витраті повітря при спуску рятувальників $\bar{\omega}_{\text{лвих}}$ і підйомі по нерухомому ескалатору з потерпілим без свідомості $\bar{\omega}_{\text{лвих}}$ (див. рис. 8.10), що за однакової відстані S до місця роботи визначає час входу $t_{\text{вх}}$ й виходу $t_{\text{вих}}$ ланки або відділення ГДЗС, можна побачити, що без урахування тиску повітря, яке резервується, має місце відношення

$$\begin{aligned} \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} &= \frac{Q_{\text{вих}} \cdot \frac{P_a}{V_6}}{Q_{\text{вх}} \cdot \frac{P_a}{V_6}} = \frac{\bar{\omega}_{\text{лвих}} \cdot t_{\text{вих}}}{\bar{\omega}_{\text{лвх}} \cdot t_{\text{вх}}} = \frac{\bar{\omega}_{\text{лвих}} \cdot \frac{S}{\bar{v}_{\text{вих}}}}{\bar{\omega}_{\text{лвх}} \cdot \frac{S}{\bar{v}_{\text{вх}}}} = \\ &= \frac{\bar{\omega}_{\text{вих}} \cdot \bar{v}_{\text{вх}}}{\bar{\omega}_{\text{вх}} \cdot \bar{v}_{\text{вих}}} \approx \frac{120 \cdot 19}{79 \cdot 12,5} \approx 2,3, \end{aligned} \quad (9.51)$$

де $\bar{v}_{\text{вх}} \approx 19$ м/хв., $\bar{v}_{\text{вих}} \approx 12,5$ м/хв. – середня швидкість руху рятувальників при спуску й підйомі по ескалатору з постраждалими відповідно (див. рис. 8.7).

Тобто, з урахуванням $P_{\text{рез}}$ і того, що тиск в АСВ-2 (розрахунковий тиск 20,0 МПа), за якого апарат може стояти на чергуванні, повинен бути більше 18,0 МПа, а в інших АСП (розрахунковий тиск 30,0 МПа) – більше 27,0 МПа; мінімальний тиск $P_{\text{вих}}$ повітря в балонах АСП, за якого треба починати повернення на свіже повітря, має бути практично у три рази більше тієї величини $P_{\text{вх}}$, на яку впав тиск за час руху до місця оперативної роботи. Одночасно це співвідношення дає й важливу практичну рекомендацію з визначення моменту, коли ланці (відділенню) ГДЗС необхідно припинити розвідку, – рятувальники повинні почати повернення до поста безпеки за зменшення тиску в АСП у будь-якого з рятувальників на одну четверту початкового $P_{\text{поч}}$ тиску.

Крім цього, якщо врахувати те, що більшість АСП, які використовуються в оперативно-рятувальних підрозділах, мають восьмилітрові (або два чотирилітрові) балони, постовий на посту безпеки може використовувати для розрахунку часу роботи рятувальників не величину витрати повітря й відповідні співвідношення, які пов'язують кількість повітря, тиск і час, а швидкість падіння тиску $\frac{\Delta P}{\Delta t}$.

Так, при спуску рятувальників по нерухомому ескалатору тиск зменшується зі швидкістю

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\Delta Q \cdot P_a}{\Delta t \cdot V_\sigma} = \left| \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \omega \approx 80 \text{ л/хв.}; \right. \left. \begin{array}{l} V_\sigma = 8 \text{ л}; \\ P_a \approx 0,1 \text{ МПа} \end{array} \right| \approx 1 \text{ МПа/хв.}, \quad (9.52)$$

а при підйомі потерпілого по нерухомому ескалатору -

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} \approx 1,5 \text{ МПа/хв.} \quad (9.53)$$

Скорочення тривалості розрахунків передбачуваних часів роботи й повернення дасть можливість постовому на посту безпеки приділити більше уваги підготовці ланки й контролю за її роботою.

9.2.2. Визначення часу роботи в апаратах на хімічно-зв'язаному кисню

Як основу для визначення часових характеристик при застосуванні АХЗК, в технічній документації яких не наведені конкретні вимоги щодо визначення часу роботи в різних умовах, пропонується покласти, за аналогією з підходом, що застосовується для АСП та РДА, визначення кількості газоповітряної суміші Q , яка створюється за допомогою надперекисних сполучень лужних металів і витрачається для дихання газодимозахисником.

Відповідно до тактико-технічних характеристик АХЗК та кількісних показників дихання її кількість можна визначити як

$$Q = t_{\text{сп}} \cdot \omega_{\text{сп}}, \quad (9.54)$$

де $t_{\text{сп}}$ – час захисної дії апарата для випадку перебування газодимозахисника у спокійному стані (не виконується ніяка робота), хвилин;

$\omega_{\text{сп}} = 12$ л/хв. – легенева вентиляція, яка відповідає перебуванню людини у спокої.

В той же час, якщо розглядати випадок, коли під час проведення розвідки $t_{\text{розв}}$ не передбачається рятування потерпілих, що відповідає виконанню роботи середнього ступеня важкості з відповідною легеневою вентиляцією $\omega_{\text{розв}} = \omega_{\text{с}} = 30$ л/хв., апаратом буде вироблено таку ж кількість

газоповітряної суміші, що і для перебування у спокої

$$t_{\text{сп}} \cdot \omega_{\text{сп}} = t_{\text{розв}\Sigma} \cdot \omega_{\text{розв}} \quad (9.55)$$

Звідки

$$t_{\text{розв}\Sigma} = 0,4 \cdot t_{\text{сп}} \quad (9.56)$$

Загальний час розвідки $t_{\text{розв}\Sigma}$ складається з часу $t_{\text{розв}}$ безпосередньої розвідки та часу $t_{\text{пов}}$, який необхідно зарезервувати на повернення. З урахуванням непередбачених обставин та за аналогією з розрахунком мінімального тиску, за якого необхідно починати повернення в РДА

$$t_{\text{розв}\Sigma} = t_{\text{розв}} + t_{\text{пов}} = t_{\text{розв}} + 1,5 \cdot t_{\text{розв}} = 2,5 \cdot t_{\text{розв}}, \quad (9.57)$$

тобто

$$t_{\text{розв}} = 0,4 \cdot t_{\text{розв}\Sigma} \quad (9.58)$$

Коли ж розглядається ситуація з можливим винесенням потерпілого (це відповідає виконанню дуже важкої роботи, за якої легенева вентиляція дорівнює $\omega_{\text{пот}} = 84 \text{ л/хв.}$), додатково враховується те, що довжина шляху під час розвідки дорівнює довжині шляху, який буде подолано газодимозахисниками разом із потерпілими

$$v_{\text{г}} \cdot t_{\text{г}} = v_{\text{пот}} \cdot t_{\text{пот}} = v_{\text{пот}} \cdot \frac{Q}{\omega_{\text{пот}}} = \frac{v_{\text{пот}} \cdot t_{\text{сп}} \cdot \omega_{\text{сп}}}{\omega_{\text{пот}}}, \quad (9.59)$$

де $v_{\text{розв}}$, $v_{\text{пот}}$ – швидкість руху (див. рис. 8.7) ланки при проведенні розвідки та під час перенесення потерпілого на чисте повітря, м/хв.

Це дозволяє визначити час розвідки як

$$t_{\text{розв}} = \frac{v_{\text{пот}} \cdot \omega_{\text{сп}}}{v_{\text{розв}} \cdot \omega_{\text{пот}}} \cdot t_{\text{сп}} = \frac{12 \cdot 12}{19,5 \cdot 84} \cdot t_{\text{сп}} \approx 0,09 \cdot t_{\text{сп}}. \quad (9.60)$$

За необхідності наведений вище підхід можна застосувати і для розрахунку часу роботи біля осередку надзвичайної ситуації.

Контрольні запитання та завдання до глави 9

1. Що характеризує показник скошеності?
2. Який фізичний зміст позначення $P_{\text{поч}}$?
3. Який фізичний зміст позначення $P_{\text{вих}}$?
4. Який фізичний зміст позначення t_p ?
5. Який фізичний зміст позначення P_a ?
6. Яка величина резервного тиску $P_{\text{рез}}$ приймається при роботі в апаратах АСВ-2 із вмикачем резерву?
7. Яка величина резервного тиску $P_{\text{рез}}$ приймається при роботі в АСП зі звуковим сигналом?
8. На що повинно вистачити початкового тиску?
9. Яка величина легеневої вентиляції приймається для розрахунків, якщо ступінь важкості роботи є невідомим?
10. Якою є швидкість падіння тиску при роботі в апаратах АСВ-2 і виконанні роботи середньої важкості?
11. Якою є швидкість падіння тиску при роботі в апаратах Dräger PA-92 і виконанні роботи середньої важкості?

Предметний покажчик

А

абсорбція, 209
автомат легеневий, 57,145,167,182
автомат легеневий з
пневмопідсилювачами, 183,184
автомат легеневий важільний, 183
автомат легеневий мембранний, 183
автомобіль димовилучення, 46,47
адсорбція, 69,70,209,210
аерація, 46
аерозоль грубодисперсний, 65
аерозоль високодисперсний, 65
аерозоль монодисперсний, 66
аерозоль полідисперсний, 65
аерозоль, 53
азот, 17,22,23,28,90,91,163,193
активність динамічна, 212
активність статична, 212,216
активність стехіометрична, 212,216
апарат дихальний автономний,
55,72
апарат дихальний ізолюючий, 53
апарат дихальний регенеративний,
56
апарат дихальний регенеративний зі
стисненим киснем, 86
апарат дихальний регенеративний із
рідким киснем, 95
апарат дихальний резервуарний,
56,57,71
апарат дихальний резервуарний на
хімічно зв'язаному кисню,
97,98,225,229,231,233,
апарат дихальний фільтрувальний,
51,53
апарат дихальний шланговий, 55,56
апарат для аварійного спливання з
підводних човнів, 86
апарат із відкритою схемою
дихання, 127
апарат комбінований, 199

апарати "Вестфалія", 166
апарати Дрегера, 166
апарати типу «ребрізер», 83,85

Б

Бану Муса, 59
бікарбонат, 15

В

величина рівноважної адсорбції, 70
величина, на яку може змінитися
тиск під час роботи біля осередку
надзвичайної ситуації, 287
величина, на яку може змінитися
тиск під час руху до осередку
надзвичайної ситуації, 287
випробування полігонні, 236, 266
вологозбірник, 87,171,340
вплив кліматичних факторів, 241

Г

газ вуглекислий, 14, 15,16,17,26
газ сірчистий, 28,30,32
газообмін у легенях людини, 35,39,
Ганьян Еміль, 73
Гарфорт, 167
герметичність, 103,117,122
герметичність засобів
індивідуального захисту шкіри, 103
гідратокис кальцію, 207,208,216,229
гідрат окис натрію, 207,208,229
гіперкапнія, 34
гіпоксія, 33
грудна клітка, 12
група впливу хімічних речовин на
організм людини, 28
групи захисних костюмів, 49

Д

Девіс Роберт, 86
Денейруе Огюст, 72
дим, 27
димовсмоктувач, 46,47
дихання, 11,12,35
дихання внутрішнє, 11,12

дихання зовнішнє, 11,12
доза споживання кисню, 35, 40
дослідження лабораторні на людях,
236,252

Е

еквівалент кисню калоричний, 42
елемент поршневий чутливий, 180
елемент сільфонний чутливий, 181
ергометр вертикальний, 255,256
етапи полігонних випробувань, 266

Ж

життєва ємність легень, 35,36

З

закон Бойля–Маріотта, 74,288
засоби захисту комплексні, 49
засоби захисту органів дихання
групові, 46
засоби захисту органів дихання
індивідуальні, 46,52,
засоби індивідуального захисту
органів дихання висотні, 52,53
засоби індивідуального захисту
органів дихання наземні, 52,53
засоби індивідуального захисту
органів дихання підводні, 52,53
засоби індивідуального захисту
шкіри, 48,51
засобів захисту стаціонарні, 46
затримка часу, 81

К

карбоксигемоглобін, 15
картон целюлозно-азбестовий, 67
Кедмен, 164
кисень, 15,17,23
киснепостачання, 92,191,193
кількість повітря (кисню), яку
можна витратити під час роботи
біля осередку НС, 287
кількість повітря (кисню), яку
необхідно витратити для руху до
місця роботи, 287
клас безпеки речовин, 29

класифікація засобів
індивідуального захисту органів
дихання, 52
коефіцієнтом відбору кисню, 39
коефіцієнт дихальний, 16
коефіцієнт захисту 117,118,119,392
коефіцієнт захисту лицьової
частини, 128,
коефіцієнт захисту
повітропроводної частини, 128
коефіцієнт небезпеки інгаляційного
отруєння, 30,135
коефіцієнт підсосу, 103,104,105
коефіцієнт проникнення,
117,118,122
коефіцієнт токсичності (токсичної
небезпеки) середовища, 31,135
комплекс засобів індивідуального
захисту, 51,149
комплекс засобів індивідуального
захисту другого типу, 51
комплекс засобів індивідуального
захисту першого типу, 51
комплекс засобів індивідуального
захисту третього типу, 51
конденсація капілярна, 209
контроль якості засобів
індивідуального захисту, 235,236,
контрольні випробування за
допомогою приладів, 244
костюм «PROFITECH», 50
костюм герметичний гумовий
Пашутіна В.В., 101,102
костюм ізолюючий, 108
критерій Колмогорова, 284
Куммант, 60
Кусто Жак-Ів, 73

Л

Лавуазьє, 85
легенева вентиляція, 37
Леонардо да Вінчі, 59
Лодигін А.І., 72

М

Майер, 164
Маска, 55,126,127
маску з гуми, 60
матеріали скловолокнисті, 67
матеріали фільтрувальні, 68
матеріали фільтрувально-сорбційні, 68
мертвий простір, 38
метод ізоляції, 55
метод осадження диму і шкідливих газів, 47
метод осадження диму і шкідливих газів дрібнодисперсною водою, 47
метод осадження диму і шкідливих газів розпорошуваним абсорбентом, 47
метод функціональної проби з дозованим фізичним навантаженням, 260,351
мікропори, 69,70
мішок дихальний, 84,87,91, 98
мішок дихальний непрямого керування, 93
мішок дихальний прямого керування, 93
мундштук, 72,83,84,165,171,
мундштуковий пристрій із загубником і носовим затискачем, 126,137,

Н

надперекис калію, 231,232,
надперекис натрію (новооксид), 227,229
недоліки регенеративних дихальних апаратів зі стисненим киснем, 95
недоліки регенеративних дихальних апаратів із рідким киснем, 97
недоліки р дихальних апаратів на хімічно зв'язаному кисню, 99
недоліки резервуарних дихальних апаратів, 82

О

об'єм вдиху додатковий, 35,36
об'єм видиху резервний, 35,36
об'єм дихальний, 35
об'єм балона,74,76, 274,288,
одяг спеціальний захисний, 49
окис азоту, 28,29,30,32
окис вуглецю,
15,25,27,30,31,120,121,153,
оксигемоглобін, 15
Олександр фон Гумбольдт, 59

П

Потехін, 101
пара клапанна, 161,174,175
патрон із вапняним сорбентом, 89
патрон регенеративний, 27,83,218,
Пашутін В.В., 101
переваги регенеративних дихальних апаратів зі стисненим киснем, 94
переваги регенеративних дихальних апаратів із рідким киснем, 97
переваги дихальних апаратів на хімічно зв'язаному кисню, 99
переваги резервуарних дихальних апаратів, 81
Петрянов-Соколов І.В., 63
півмаска, 126,127
підсоси в зоні з'єднання лицевої частини з органами дихання, 126
повітря атмосферне, 14,17,18
повітря залишкове, 36,79
подача кисню комбінована, 171,173, 199
подача легенево-автоматична, 57,77,79,93,200, 293,
показник динамічної стійкості, 263,264
показник захисної ефективності ЗІЗОД, 63,129,155,237,
показник якості ЗІЗОД, 252
показники якості КЗІЗ, 236,237,
положення оперативне засобів захисту шкіри, 113,114

положення похідне засобів захисту шкіри, 113,114
правило Лопіталя, 203,
працездатність загальна фізична, 261,262
працездатність спеціальна, 262,
препарат регенеративний, 229,231, 232
протигаз - ГП-7В, 61,62
протигаз “ОХІ – SR45”, 181
протигаз ізолюючий Р-30, 85,220,264,307,310,
протигаз фільтрувальний газопилозахисний (комбінований), 54,69
протигаз фільтрувальний протигазовий, 54,69
протигаз фільтрувальний протипиловий, 53,64

Р

регенерація повітря, 89
регулятор Рукейроля, 162
редуктор, 73,77,160,165,171,173,177,
редуктор зворотної дії, 174,175,179
редуктор зворотної дії важільний, 180
редуктор поршневий
редуктор прямої дії, 174,175,179
редуктор прямої дії шпильковий, 180
редуктор сифонний, 181
режим дихальний додатковий, 41
режим дихальний основний, 41
режим роботи дихального мішка збитковий, 200
режим роботи дихального мішка легенево-автоматичний, 200
режим роботи дихального мішка проміжний (перехідний), 200
респіратор, 53,55,
респіратор «АЕРОФОР», 83
респіратор Ковшова і Кузьменка, 85
респіратор Майер-Пілар, 164

респіратор марлеватний Кисельова і Гончарука, 63
респіратор професора Догеля О.І., 59
респіратор регенеративний дихальний зі стисненим киснем КИП, 85,93,161,183,294,297,310
респіратор регенеративний дихальний зі стисненим киснем Урал-1, 85
респіратор регенеративний Шванна, 161
респіратор РЗО, 220,222,223
респіратор ШБ-1 «Лепесток», 64
рівняння Менделєєва – Клапейрона, 189
Рукейроль Бенуа, 71
рух броунівський, 66

С

саморятівник шахтний, 51,232,
система амортизуюча ізолюючого апарата, 243,244
система дихальна, 11
система киснепостачальна, 88,159
система підвісна ізолюючого апарата, 243,244
система повітропровідна, 73,74,87,159
система стандартів з безпеки праці, 75
сірководень, 29,30,32,120,
сорбція, 88,208
способи для основної подачі кисню, 93
стан газодимозахисника функціональний, 252,253
стенд-нескінченна драбина, 255
стенд-рухома доріжка, 255
Стенхаус Джон, 60
степ-тест, 260,
степ-тест Гарвардський, 263
судина Д'юара, 82
схема дихання відкрита, 57,127

Т

тиск за якого спрацьовує
додатковий індикатор тиску, 287
тиск контрольний, за якого
необхідно почати повернення, 287
тиск мінімальний, за якого апарат
може стояти на чергуванні, 287
тиск повітря початковий, 287
тиск повітря максимальний, 287

У

установка «Штучні легені», 246
установка для визначення стійкості
лицевої частини до впливу полум'я,
250

Ф

фільтр вугільний Зелінського, 61
фільтр Петрянова, 63,67
Флеусс, 86
Фукс Н.А., 63

Х

Хаслетт Льюїс, 60

Хемосорбція, 209
хімпоглинач вапняний, 215,217
холодильник, 87,92,340
Хотинський А., 72

Ч

час захисної дії, 287
час роботи біля місця НС, 287
час руху до місця роботи, 287
частота дихання, 35,78
чверть маска, 127
чутливість системи, 80
чутливість засобів індивідуального
захисту до впливу відкритого
полум'я, 250

Ш

Шванн, 161
швидкість падіння тиску, 304,305
шолом, 126,128
шолом-маска, 126,128

Скорочення

АРР СМ – аварійно-рятувальні роботи на станція метрополітену
АСП – апарат на стиснутому повітрі
АХЗК – апарати на хімічно зв'язаному кисню
БР – біологічний речовина
ГДЗС – газодимозахисна служба
ГДК – гранично допустимі концентрації
ДРА-ОД – дихальна система “апарат – органи дихання”
ДС – показник динамічної стійкості
ДСНС – Державна служба з надзвичайних ситуацій
ЖЄЛ – життєва ємність легень
ЗЗК – загальновійськовий захисний комплект
ЗІЗОД – засоби індивідуального захисту органів дихання
ЗІЗШ – засоби індивідуального захисту шкіри
ІА – ізолюючий апарат
ІГСТ – індексу Гарвардського степ-тесту
ІК – ізолюючий костюм
КЗІЗ – комплекс засобів індивідуального захисту
КНІО – коефіцієнт небезпеки інгаляційного отруєння
КПС РДА – киснепостачальна система регенеративних дихальних апаратів
ЛА – легеневий автомат
НС – надзвичайна ситуація
НХР – небезпечна хімічна речовина
ОД – органи дихання
ОР – отруйна речовина
ППС АСП – повітропостачальна система апаратів на стиснутому повітрі
РДА – регенеративний дихальний апарат
РР – радіоактивна речовина
ССБП – система стандартів безпеки праці
ТДК – теплодимокамера
ТН – токсична небезпека
ТТХ – тактико-технічні характеристики
ФГ – протигазові фільтрувальні протигазу
ФГП – газопилозахисні фільтрувальні протигазу
ФМ – фільтрувальні матеріали
ФП – протипилові фільтрувальні протигазу
ФСМ – фільтрувально-сорбційні матеріали
ХПВ – вапняний хімпоглинач
ХПВД – дрібнозернистий вапняний хімпоглинач
ЧСС – частота серцевих скорочень
ШМ – шолом-маска

ЛІТЕРАТУРА

1. Конституція України : прийнята на п'ятій сесії Верхов. Ради України 28 червня 1996 р. – К. : Велес, 2005. – 48 с. – (Серія видань "Офіційний документ").
2. Кодекс цивільного захисту України : Кодекс. : за станом на 01 липня 2013 р. – К. : Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2013. – 82 с. – (Бібліотека офіційних видань).
3. Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби МНС України : Наказ МНС України № 1342 від 16 грудня 2011р. : М-во надзв. сит. України, 2011. – 56 с. – (Нормативний документ МНС України. Настанова).
4. Настанова з організації професійної підготовки та післядипломної освіти осіб рядового і начальницького складу органів і підрозділів цивільного захисту : Наказ МНС України № 444 від 01 липня 2009 р. : М-во надзв. сит. України, 2009. – 20 с. – (Нормативний документ МНС України. Настанова).
5. Положення про організацію службової підготовки осіб рядового і начальницького складу органів та підрозділів цивільного захисту : Наказ МНС України № 601 від 01 вересня 2009 р. : М-во надзв. сит. України, 2009. – 41 с. – (Нормативний документ МНС України. Положення).
6. Тимчасовий порядок організації внутрішньої, гарнізонної та караульної служб МНС України : Наказ МНС України № 794 від 31 жовтня 2008 р. : М-во надзв. сит. України, 2008. – 148 с. – (Нормативний документ МНС України. Тимчасовий порядок).
7. Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту : Наказ МНС України № 575 від 13 березня 2012 р. : М-во надзв. сит. України, 2012. – 178 с. – (Нормативний документ МНС України. Статут).

8. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України : Наказ МНС України № 312 від 7 травня 2007 р. : М-во надзв. сит. України, 2007. – 248 с. – (Нормативний документ МНС України. Правила).

9. Класифікаційні ознаки надзвичайних ситуацій : Наказ МНС України № 1400 від 12 грудня 2012 р. : М-во надзв. сит. України, 2012. – 248 с. – (Нормативний документ МНС України).

10. Основи створення та експлуатації апаратів на стисненому повітрі / [Ковальов П.А., Стрілець В.М., Єлізаров О.В., Безуглов О.Є.] – Х. : АЦЗУ, 2005. – 359 с.

11. Стрілець В.М. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Основи створення та експлуатації : Навчальний посібник / Стрілець Віктор Маркович. – Х. : АПБУ, 2001. – 118 с.

12. . Ковальов П.А. Методичні рекомендації, щодо експлуатування регенеративних дихальних апаратів / Ковальов П.А., Стрілець В.М., Міщенко К.І. – Х. : ХІПБ, 1999. – 87 с.

13. Грачев В.А. Газодымозащитная служба : Учебник / Грачев В.А., Поповский Д.В. Под общ.ред. д.т.н., профессора Мелашчина Е.А. – М. : Пожкнига, 2004. – 384 с.

14. Грачев В.А. Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) : Пособие. – 2-е изд., доп. (с испр.). / Грачев В.А., С.В. Собурь. – М. : ПожКнига, 2006. – 288 с.

15. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования. Учебное пособие. / [Гудков С.В., Дворецкий С.И., Путин С.Б., Таров В.П] – М. : «Машиностроение», 2008. – 190 с.

16. Организация газодымозащитной службы на пожарах : Учебное пособие / Сверчков Ю.М. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. – 80 с.

17. Бондаренко М.В. ГДЗС в примерах: Учебное пособие / Бондаренко М.В., Долматов С.Н. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2006. – 53 с.

18. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Диденко Н.С. – М.: Недра, 1984. – 296 с.

19. Перепечаев В.Д. Газодымозащитная служба пожарной охраны Учебник / Перепечаев В.Д., Береза В.Ю. – Черкассы, 2000. – 468 с.

20. Чернов С.М. Ізолюючі апарати. Обслуговування та використання. Навчальний посібник / Чернов С.М., Ковалишин В.В. – Львів : “СПОЛОМ”, 2002. – 194 с.

21. Организация и проведение занятий с личным составом газодымозащитной службы пожарной охраны : Методические указания. – М. : ВНИИПО МВД, 1990 – 80 с.

22. Рекомендації для вивчення повітряних протигазів “Drager” PA 90 SERIES {PA 92} у підрозділах гарнізонів пожежної охорони – К. : УДПО МВС України, 1995. – 19 с.

23. PA 90 SERIES. Защитный дыхательный аппарат со сжатым воздухом. Руководство по эксплуатации – Донецк : МП ИКЦ Ротор, 1990. – 23 с.

24. Аппарат АСВ-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации – Луганск : ОАО Завод горноспасательной техники Горизонт, 2001. – 42 с.

25. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні резервуарні дихальні апарати зі стисненим повітрям. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 137:2002 – [Чинний від 2003-05-10]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 55 с.

26. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Маски. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 136:2003 – [Чинний від 2004-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 32 с.

27. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Апарати дихальні з подаванням чистого повітря через шланг для використання з масками, півмасками або мундштучними пристроями. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 138:2002 – [Чинний від 2003-10-01]. – К. :

Держспоживстандарт України, 2004. – 20 с.

28. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Апарати дихальні з лінією стисненого повітря для використання з масками, півмасками або мундштучними пристроями : ДСТУ EN 139:2002 – [Чинний від 2003-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 28 с.

29. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Протигазові та скомбіновані фільтри. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 141-2001 – [Чинний від 2003-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 8 с.

30. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Протиаерозольні фільтри. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 143:2002 – [Чинний від 2003-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 24 с.

31. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Автономні регенерувальні дихальні апарати зі стисненим киснем або зі стисненим киснем і азотом. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 145:2003 – [Чинний від 2004-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 29 с.

32. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Півмаски фільтрувальні для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 149:2003 – [Чинний від 2004-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 26 с.

33. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Апарати дихальні з капюшоном і примусовим подаванням чистого повітря через шланг. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 269:2003 – [Чинний від 2005-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 19 с.

34. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Апарати дихальні з капюшоном і лінією стисненого повітря. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 270:2003 – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 23 с.

35. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Апарати дихальні з

капюшоном і лінією стисненого повітря або з примусовим подаванням повітря через шланг для використання в умовах абразивної і ударної дії матеріалів. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 271:2003 –

36. Одяг захисний. Захист від нагріву та полум'я. Метод визначання теплопровідності матеріалів, підданих впливові полум'я : ДСТУ 367-2001 – [Чинний від 2003-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 12 с.

37. Одяг спеціальний для захисту від рідких хімікатів. Метод визначання стійкості матеріалів до проникання рідин : ДСТУ 368:2002 – [Чинний від 2003-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 6 с.

38. Одяг спеціальний для захисту від рідких хімікатів. Метод визначання опору матеріалів прониканню рідин : ДСТУ 369:2002 – [Чинний від 2003-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 8 с.

39. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Протигазові та скомбіновані фільтри типу АХ для захисту від органічних сполук з низькою температурою кипіння. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 371-2001 – [Чинний від 2003-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 6 с.

40. Засоби індивідуального захисту органів дихання для саморятування. Пристрої фільтрувальні з капюшоном для саморятування під час пожежі. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 403:2003 – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 20 с.

41. Засоби індивідуального захисту органів дихання для саморятування. Фільтр-саморятівник. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 404:2003 – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 24 с.

42. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Півмаски фільтрувальні з клапанами для захисту від газів або газів і аерозолів. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 405:2003 – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 31 с.

43. Засоби індивідуального захисту органів дихання для саморятуння. Апарати дихальні автономні резервуарні зі стисненим повітрям і капюшоном (апарати рятувальні зі стисненим повітрям і капюшоном) Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ EN 1146:2003 – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 31 с.

44. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Терміни та визначення : ДСТУ 2299-93 – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 31 с.

45. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри з дихальними шлангами (позамаскові фільтри): протиаерозольні, протигазові та скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування : ДСТУ 12083-2001 – 31 с.

46. Техника пожарная. Дыхательные аппараты со сжатым воздухом для пожарных. Общие технические требования. Методы испытаний : НПБ 165-97 – [Введен от 1997-11-25]. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 95 с.

ЛАБОРАТОРНИЙ ЖУРНАЛ

з дисципліни

“ Основи створення та експлуатації засобів індивідуального захисту”

(для курсантів і студентів денної форми навчання)

курсанта _____ групи _____

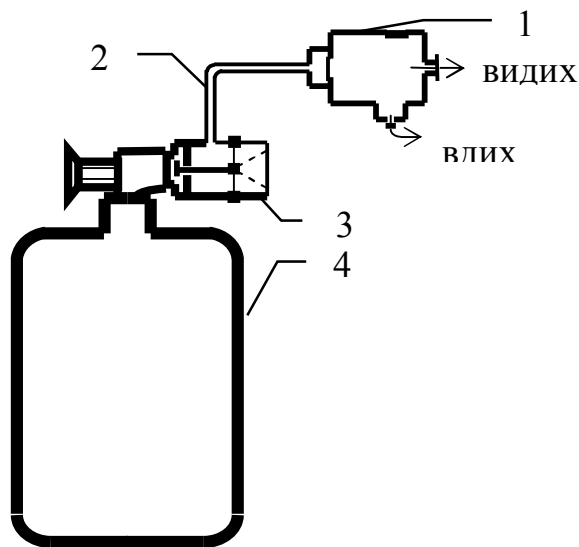
Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЕГЕНЕВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Мета роботи – оцінка рівня легеневої вентиляції при виконанні в апаратах роботи різного ступеня важкості.

Експериментальна частина

Принципова схема апарата на стисненому повітрі



- 1 – легеневий автомат;
- 2 – гнучкий шланг;
- 3 – редуктор;
- 4 – балон(и) зі стисненим повітрям.

Контрольні питання:

Принцип дії апарата на стисненому повітрі:

- пульсуюча (легенево-автоматична) подача повітря для дихання (тільки на вдих);
- відкрита схема дихання, тобто з видихом в атмосферу.

Порядок виконання

1. Виконати першу перевірку АСП.
2. Після прибуття до місця дослідження за командою командира ланки виконати оперативну перевірку.
3. За командою командира ланки включитися до апарата та виконати відповідну роботу:
 - спокійну;
 - легку;
 - середньої важкості;
 - важку;
 - дуже важку.
4. Для кожного випадку заміряти початковий та кінцевий тиск (МПа), час виконання відповідної роботи (хвилин). Отримані результати внести до таблиці.
5. Визначити показники легеневої вентиляції $\omega_{\text{л}}$ за результатами вимірювань для відповідної роботи та занести їх до таблиці

$$\omega = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t},$$

де $P_{\text{поч}}$ – тиск в балоні на початку роботи, МПа;

$P_{\text{кін}}$ – тиск в балоні на прикінці роботи, МПа;

$P_{\text{а}}$ – атмосферний тиск ($P_{\text{а}} \cong 0,1$ МПа);

$V_{\text{б}}$ – об'єм балону, л.

6. Побудувати залежність легеневої вентиляції від характеру роботи.

Таблиця – Результати дослідження

№ з/п	Характер роботи	$P_{\text{поч}}, \text{МПа}$	$P_{\text{кін}}, \text{МПа}$	$t, \text{хв.}$	$\omega_{\text{л}}$
1.	Спокійна	19,0	18,0	10	16
2.	Легка	18,0	16,5	10	24
3.	Середньої важкості	16,5	14,0	10	40
4.	Важка	14,0	10,0	10	64
5.	Дуже важка	10,0	4,0	10	96

Місце для розрахунків

$$\omega_{\text{л1}} = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(19 - 18) \cdot 8}{0,1 \cdot 5} = 16 \text{ л/хв.};$$

$$\omega_{\text{л2}} = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(18 - 16,5) \cdot 8}{0,1 \cdot 5} = 24 \text{ л/хв.};$$

$$\omega_{\text{л3}} = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(16,5 - 14) \cdot 8}{0,1 \cdot 5} = 40 \text{ л/хв.};$$

$$\omega_{\text{л4}} = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(14 - 10) \cdot 8}{0,1 \cdot 5} = 64 \text{ л/хв.};$$

$$\omega_{\text{л5}} = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(10 - 4) \cdot 8}{0,1 \cdot 5} = 96 \text{ л/хв.}$$

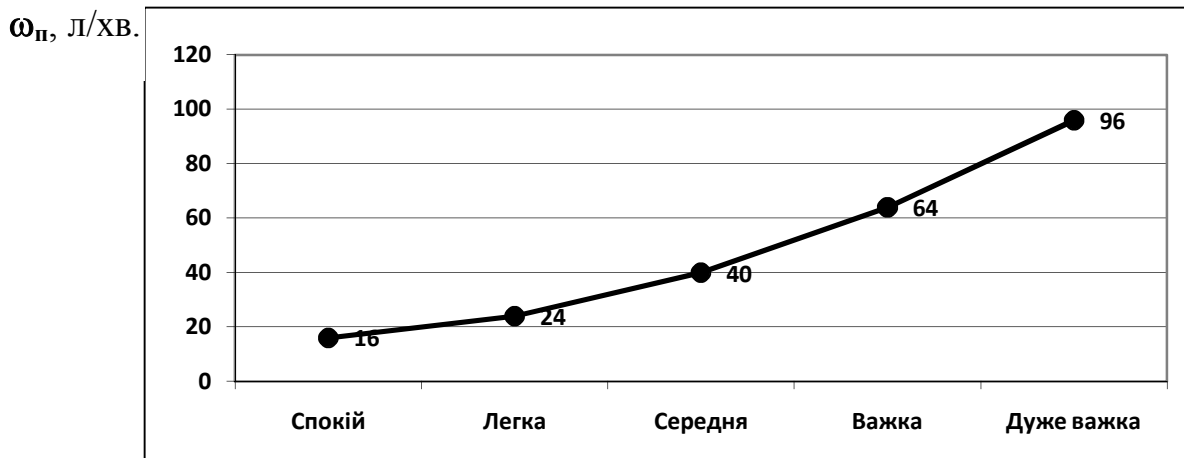


Рисунок – Залежність легеневої вентиляції від характеру роботи

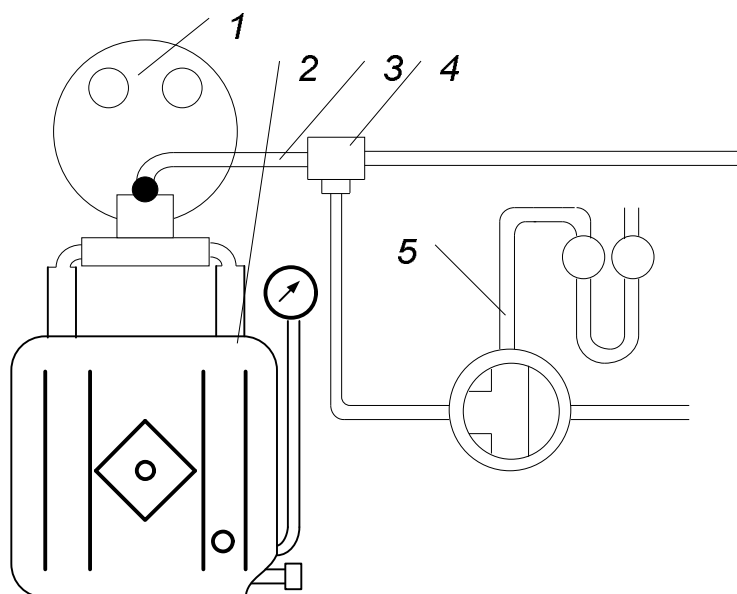
Висновки: Показник легеневої вентиляції суттєво залежить від важкості роботи та його значення більше, ніж те, що наведено в нормативній літературі. Особливо ця є різниця помітною для дуже важкої роботи. Все це необхідно враховувати постовому на посту безпеки при розрахунку часу перебування газодимозахисників у непридатному для дихання середовищі.

Лабораторна робота № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ РЕГЕНЕРАТИВНИХ ДИХАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Мета роботи – оцінка ступеня герметичності регенеративних дихальних апаратів залежно від величини розрідження.

Експериментальна частина.



1 – лицьова частина; 2 – регенеративний дихальний апарат; 3 – гнучкі шланги;
4 – трійник; 5 – реометр-манометр

Контрольні питання:

1. Які лицьові частини використовуються в ГДЗС?

Відомі п'ять видів лицевих частин ЗІЗОД: мундштуковий пристрій із загубником і носовим затискачем, напівмаска (іноді розглядають і чвертьмаску, але вона має коефіцієнт захисту ще менший, ніж у напівмаски), маска, шолом-маска і шолом.

Порядок проведення

1. Зібрати схему. Вентиль кисневого балона зачинений.
2. У повітропровідній системі апарата створити розрідження:
 - 1750–2100 Па;

- 1400–1750 Па;
- 1100–1400 Па;
- 1000–1100 Па;
- 750–1000 Па

3. Для кожного випадку заміряти час (с) та величину падіння (Па) розрідження. Отримані результати занести до таблиці.

4. Провести розрахунки швидкості падіння розрідження, підсосу та коефіцієнта захисту повітропровідної системи та отримані результати занести до таблиці.

5. Розрахувати загальний коефіцієнт захисту для апаратів, обладнаних як маскою, так і шолом-маскою.

6. Побудувати залежності $\omega_{\text{пл}} = f(P_{\text{пер}})$, $K_{31} = f(\Delta P / \Delta t)$.

7. Побудувати залежність загального коефіцієнта захисту від коефіцієнта захисту повітропровідної системи $K_{\text{з}} = f(K_{\text{з1}})$ для апаратів, обладнаних як маскою, так і шолом-маскою.

Таблиця – Результати дослідження

Результати вимірювань			Результати розрахунків				
$P_{\text{пер}}, \text{Па}$	$\Delta P, \text{Па}$	$\Delta t, \text{с}$	$\Delta P_i / \Delta t_i$	$\omega_{\text{пл}}, \text{л/хв.}$	K_{31}	K_3	
						маска, 10^3	шолом-маска, 10^4
2100	100	60	100	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^4$	5,5	1,21
1750	90	60	90	$2,35 \cdot 10^{-3}$	$1,28 \cdot 10^4$	5,6	1,26
1400	80	60	80	$2,31 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^4$	5,65	1,28
1100	70	60	70	$2,28 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^4$	5,69	1,3
1000	60	60	60	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^4$	6	1,48

Розрахункова частина

1. Визначення підсосу у повітропровідну систему за результатами перевірки за розрідженням:

$$\omega_{\text{п1}} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{\text{вд}}}{p_{\text{пер}}}}}{m \cdot p_a},$$

де $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ – швидкість падіння розрідження, Па/хв;

V_p – місткість повітропровідної системи при розрідженні, л ($V_p=2,5$ л)

$P_{\text{вд}}$ – опір апарату вдиху, Па ($P_{\text{вд}} \leq 300$ Па)

$P_{\text{пер}}$ – розрідження у повітропровідній системі при перевірці, Па;

m – коефіцієнт, який враховує, що повітропровідна система не є жорсткою ($m=0,16$)

P_a – атмосферний тиск, Па.

2. Визначення коефіцієнта захисту повітропровідної системи:

$$K_{\text{зі}} = \frac{\omega_{\text{л}}}{\omega_{\text{пі}}}$$

де $\omega_{\text{л}}$ – легенева вентиляція, л/хв;

$\omega_{\text{пі}}$ – проникнення (підсос) навколишнього повітря в систему, л/хв.

3. Визначення загального коефіцієнта захисту K_3 системи “апарат – орган дихання”

$$K_3 = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}},$$

де K_{31} – коефіцієнт захисту повітропровідної системи;

K_{32} – коефіцієнт захисту лицевої частини.

Місце для розрахунків

$$\omega_{n1} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 100 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{300}{2100}}}{0,16 \cdot 10^5} = 2,4 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_{n2} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 90 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{300}{1750}}}{0,16 \cdot 10^5} = 2,35 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_{n3} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 80 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{300}{1400}}}{0,16 \cdot 10^5} = 2,31 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_{n4} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 70 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{300}{1100}}}{0,16 \cdot 10^5} = 2,28 \cdot 10^{-3};$$

$$\omega_{n5} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 60 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\frac{300}{1000}}}{0,16 \cdot 10^5} = 2,0 \cdot 10^{-3};$$

$$K_{31} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n1}} = \frac{30}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 1,25 \cdot 10^4;$$

$$K_{32} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n2}} = \frac{30}{2,35 \cdot 10^{-3}} = 1,28 \cdot 10^4;$$

$$K_{33} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n3}} = \frac{30}{2,31 \cdot 10^{-3}} = 1,3 \cdot 10^4;$$

$$K_{34} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n4}} = \frac{30}{2,28 \cdot 10^{-3}} = 1,32 \cdot 10^4;$$

$$K_{35} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n5}} = \frac{30}{2,0 \cdot 10^{-3}} = 1,5 \cdot 10^4;$$

$$K_{3M1} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,25 \cdot 10^4 \cdot 10^4}{1,25 \cdot 10^4 + 10^4} = 5,5 \cdot 10^3;$$

$$K_{3M2} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,28 \cdot 10^4 \cdot 10^4}{1,28 \cdot 10^4 + 10^4} = 5,6 \cdot 10^3;$$

$$K_{3M3} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,3 \cdot 10^4 \cdot 10^4}{1,3 \cdot 10^4 + 10^4} = 5,65 \cdot 10^3;$$

$$K_{3M4} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,32 \cdot 10^4 \cdot 10^4}{1,32 \cdot 10^4 + 10^4} = 5,69 \cdot 10^3;$$

$$K_{3M5} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,5 \cdot 10^4 \cdot 10^4}{1,5 \cdot 10^4 + 10^4} = 6 \cdot 10^3;$$

$$K_{3III1} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,25 \cdot 10^4 \cdot 10^6}{1,25 \cdot 10^4 + 10^6} = 1,21 \cdot 10^4;$$

$$K_{3III2} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,28 \cdot 10^4 \cdot 10^6}{1,28 \cdot 10^4 + 10^6} = 1,26 \cdot 10^4;$$

$$K_{3III3} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,3 \cdot 10^4 \cdot 10^6}{1,3 \cdot 10^4 + 10^6} = 1,28 \cdot 10^4;$$

$$K_{3III4} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,32 \cdot 10^4 \cdot 10^6}{1,32 \cdot 10^4 + 10^6} = 1,3 \cdot 10^4;$$

$$K_{3III5} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,5 \cdot 10^4 \cdot 10^6}{1,5 \cdot 10^4 + 10^6} = 1,48 \cdot 10^4.$$

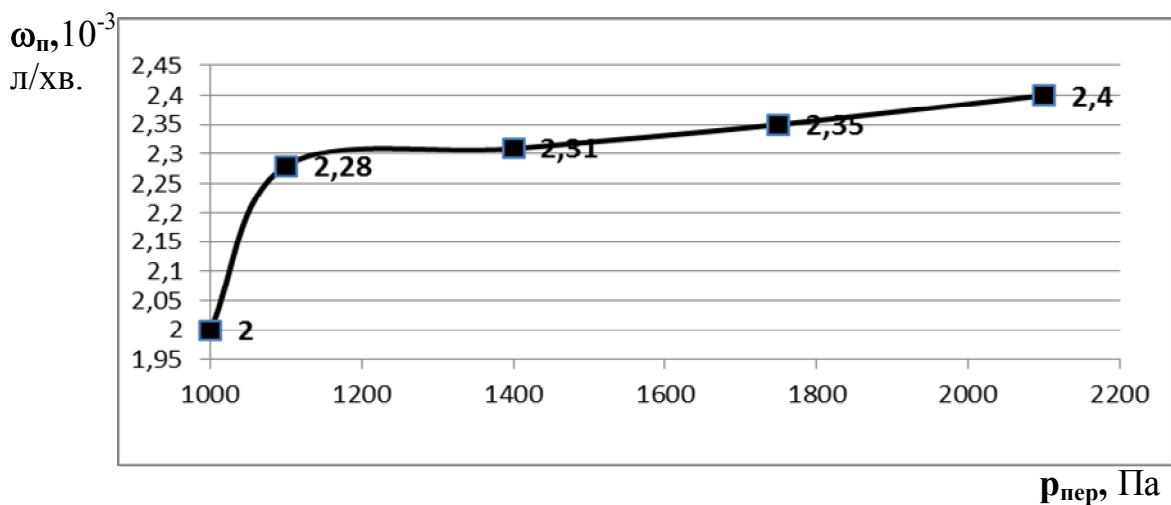


Рисунок 1 – Залежність підсосу від величини перевірного тиску

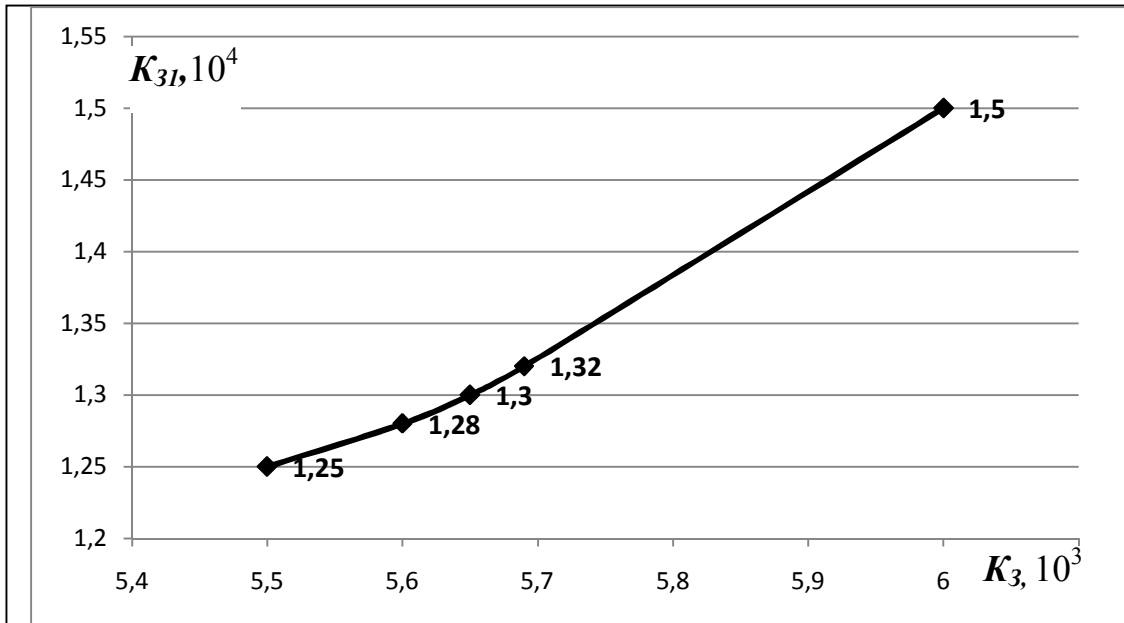


Рисунок 2 – Залежність загального коефіцієнта захисту при використанні маски від коефіцієнта захисту повітропровідної системи

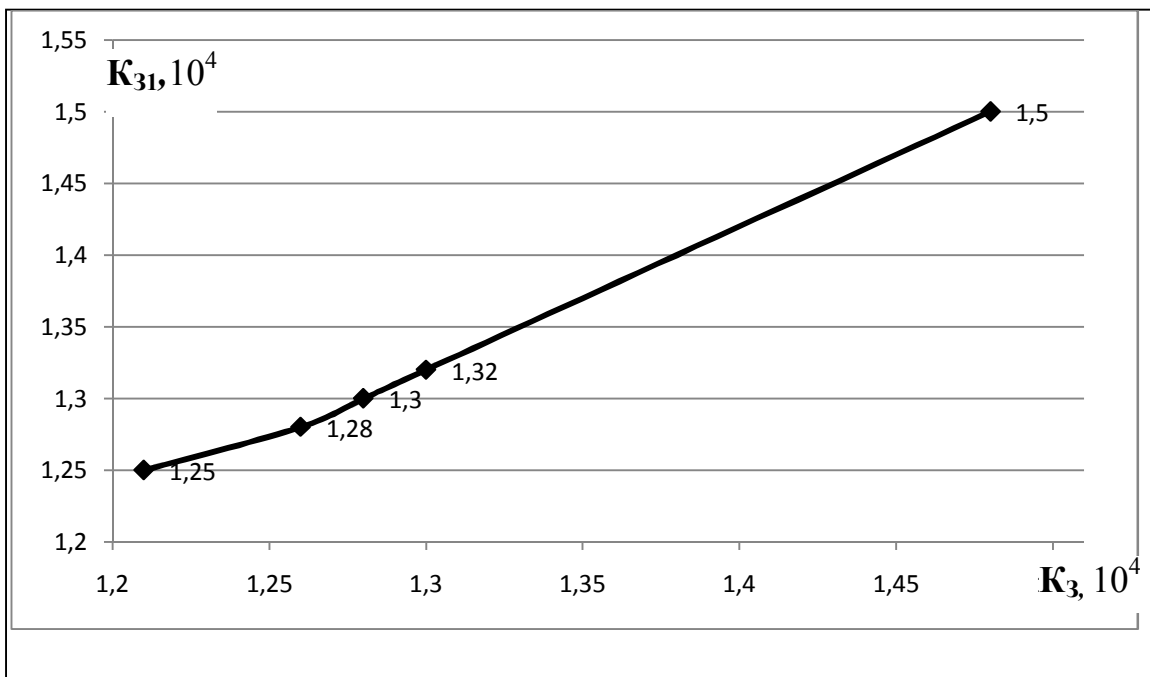


Рисунок 3 – Залежність загального коефіцієнта захисту при використанні шолом-маски від коефіцієнта захисту повітропровідної системи

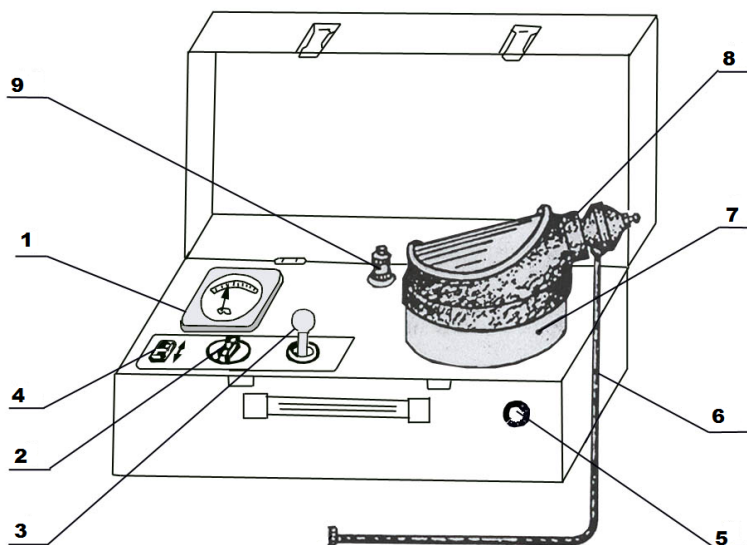
Висновки: У міру збільшення перевірного тиску підсос збільшується. У свою чергу загальний коефіцієнт захисту збільшується пропорційно коефіцієнту захисту повітропровідної системи.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ АПАРАТІВ НА СТИСНЕНОМУ ПОВІТРІ

Мета роботи – оцінка ступеня герметичності резервуарних дихальних апаратів залежно від величини розрідження.

Експериментальна частина



1 – контрольний прилад; 2 – кран для переключання; 3 – насос; 4 – перекривний клапан; 5 – заглушка ежектора; 6 – повітропровід; 7 – муляж; 8 – маска; 9 – рознімач.

Контрольні питання:

1. Які лицьові частини використовуються в ГДЗС?

Відомі п'ять видів лицевих частин ЗІЗОД: мундштуковий пристрій із загубником і носовим затискачем, напівмаска (іноді розглядають і чвертьмаску, але вона має коефіцієнт захисту ще менший, ніж у напівмаски), маска, шолом-маска і шолом.

Порядок проведення

1. Зібрати схему перевірки № 2 апарата на стисненому повітрі. Вентиль повітряного балону зачинений.

2. В підмасковому просторі створити розрідження:

- 1750–2100 Па;
- 1400–1750 Па;
- 1100–1400 Па;
- 1000–1100 Па;
- 750–1000 Па

3. Для кожного випадку заміряти час (с) та величину падіння (Па) розрідження. Отримані результати занести до таблиці.

4. Не від'єднуючи маску реометра-манометра, відкрити перекривний вентиль балона. Створюючи розрідження в корпусі легеневого автомату, замітити показання реометра-манометра, при якому спрацює клапан вдиху легеневого автомата. Це визначається характерним шумом повітря, яке виходить. Отриманий результат ($P_{вд}$) занести до таблиці.

5. Створити під маскою збитковий тиск та визначити, за якого тиску спрацює клапан видиху. Отриманий результат ($P_{\text{А\text{Е}\text{А}}}$) внести до таблиці.

6. Провести розрахунки швидкості падіння розрідження, підсосу та коефіцієнту захисту повітропостачальної системи та отримані результати занести до таблиці.

7. Розрахувати загальний коефіцієнт захисту для апаратів, обладнаних як маскою, так і шолом-маскою.

8. Побудувати залежності $\omega_{п1} = f(P_{пер})$, $K_{31} = f(\Delta P / \Delta t)$.

9. Побудувати залежність загального коефіцієнта захисту від коефіцієнта захисту повітропостачальної системи $K_3 = f(K_{31})$ для апаратів, обладнаних як маскою, так і шолом-маскою.

Таблиця - Результати дослідження

Результати вимірювань					Результати розрахунків				
$P_{пер.}$ Па	$\Delta P,$ Па	$\Delta t, c$	$P_{вд.}$ Па	$P_{вид.}$ Па	$\frac{\Delta P_i}{\Delta t_i}$	$\omega_{п1},$ 10^{-4} л/хв.	K_{31}	K_3	
								маска, 10^4	ШОЛОМ- маска, 10^6
2100	100	60	300	500	100	1,9	1,58	9,4	1,36
1750	90	60	300	500	90	1,86	1,61	9,41	1,38
1400	80	60	300	500	80	1,85	1,62	9,42	1,39
1100	70	60	300	500	70	1,82	1,65	9,43	1,42
1000	60	60	300	500	60	1,64	1,82	9,48	1,54

Розрахункова частина

1. Визначення підсосу в повітропостачальну систему за результатами перевірки за розрідженням:

$$\omega_{п1} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{P_{вд.}}{P_{пер}}}}{m \cdot p_a},$$

де $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ – швидкість падіння розрідження, Па/хв.;

V_p – місткість повітропостачальної системи при розрідженні, л
(мертвий простір апарата)

$P_{вд.}$ – опір апарата вдиху, Па ;

$P_{пер.}$ – розрідження у повітропостачальній системі при перевірці, Па;

m – коефіцієнт, який враховує, що повітропостачальна система не є жорсткою ($m=0,16$);

p_a – атмосферний тиск, Па.

2. Визначення коефіцієнта захисту повітропровідної системи:

$$K_{3i} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{пi}},$$

де $\omega_{л}$ – легенева вентиляція, л/хв.;

$\omega_{пi}$ – проникнення (підсос) навколишнього повітря в систему, л/хв.

3. Визначення загального коефіцієнта захисту K_3 системи “апарат – орган дихання”

$$K_3 = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}},$$

де K_{31} – коефіцієнт захисту повітропровідної системи;

K_{32} – коефіцієнт захисту лицевої частини.

Місце для розрахунків

$$\omega_{п1} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 100 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{300}{2100}}}{0,16 \cdot 10^5} = 1,9 \cdot 10^{-4};$$

$$\omega_{п2} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 90 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{300}{1750}}}{0,16 \cdot 10^5} = 1,86 \cdot 10^{-4};$$

$$\omega_{п3} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 80 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{300}{1400}}}{0,16 \cdot 10^5} = 1,85 \cdot 10^{-4};$$

$$\omega_{п4} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{пер}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 70 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{300}{1100}}}{0,16 \cdot 10^5} = 1,82 \cdot 10^{-4};$$

$$\omega_{n5} = \frac{0,4 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta t} \cdot V_p \cdot \sqrt{\frac{p_{вд}}{p_{неп}}}}{m \cdot p_a} = \frac{0,4 \cdot 60 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{300}{1000}}}{0,16 \cdot 10^5} = 1,64 \cdot 10^{-4};$$

$$K_{31} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n1}} = \frac{30}{1,9 \cdot 10^{-4}} = 1,58 \cdot 10^5;$$

$$K_{32} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n2}} = \frac{30}{1,86 \cdot 10^{-4}} = 1,61 \cdot 10^5;$$

$$K_{33} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n3}} = \frac{30}{1,85 \cdot 10^{-4}} = 1,62 \cdot 10^5;$$

$$K_{34} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n4}} = \frac{30}{1,82 \cdot 10^{-4}} = 1,65 \cdot 10^5;$$

$$K_{35} = \frac{\omega_{л}}{\omega_{n5}} = \frac{30}{1,64 \cdot 10^{-4}} = 1,82 \cdot 10^5;$$

$$K_{3M1} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,58 \cdot 10^5 \cdot 10^4}{1,58 \cdot 10^5 + 10^4} = 9,4 \cdot 10^3;$$

$$K_{3M2} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,61 \cdot 10^5 \cdot 10^4}{1,61 \cdot 10^5 + 10^4} = 9,41 \cdot 10^3;$$

$$K_{3M3} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,62 \cdot 10^5 \cdot 10^4}{1,62 \cdot 10^5 + 10^4} = 9,42 \cdot 10^3;$$

$$K_{3M4} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,65 \cdot 10^5 \cdot 10^4}{1,65 \cdot 10^5 + 10^4} = 9,43 \cdot 10^3;$$

$$K_{3M5} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,82 \cdot 10^5 \cdot 10^4}{1,82 \cdot 10^5 + 10^4} = 9,48 \cdot 10^3;$$

$$K_{3III1} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,58 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{1,58 \cdot 10^5 + 10^6} = 1,36 \cdot 10^5;$$

$$K_{3III2} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,61 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{1,61 \cdot 10^5 + 10^6} = 1,38 \cdot 10^5;$$

$$K_{3\text{ш } 3} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,62 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{1,62 \cdot 10^5 + 10^6} = 1,39 \cdot 10^5;$$

$$K_{3\text{ш } 4} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,65 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{1,65 \cdot 10^5 + 10^6} = 1,42 \cdot 10^5;$$

$$K_{3\text{ш } 5} = \frac{K_{31} \cdot K_{32}}{K_{31} + K_{32}} = \frac{1,82 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{1,82 \cdot 10^5 + 10^6} = 1,54 \cdot 10^5.$$

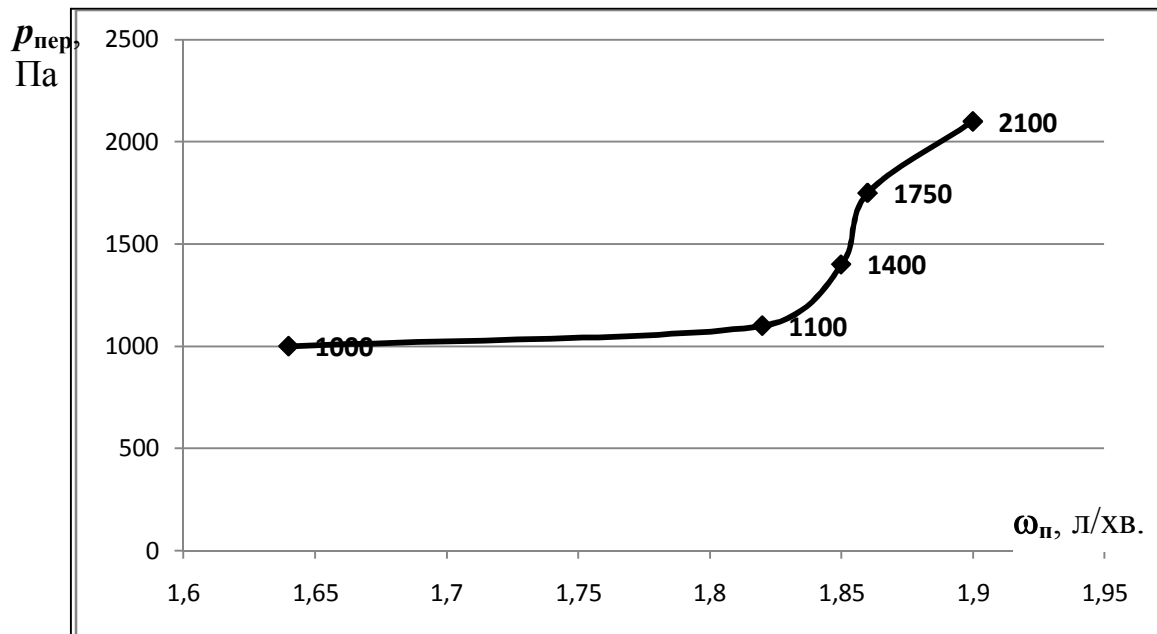


Рисунок 1 – Залежність підсосу від величини перевірного тиску

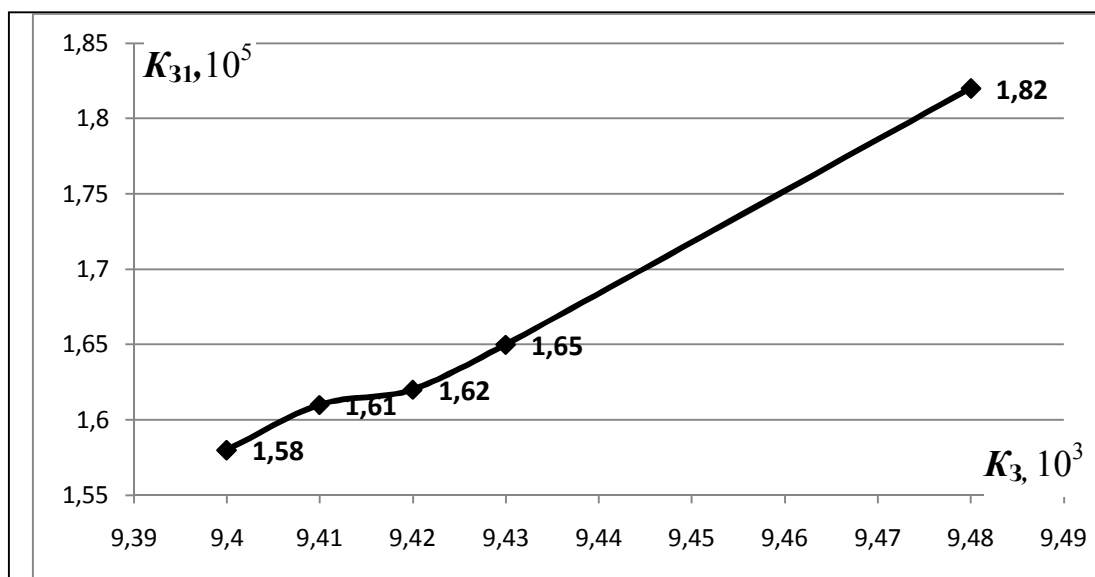


Рисунок 2 – Залежність загального коефіцієнта захисту при використанні маски від коефіцієнта захисту повітропровідної системи

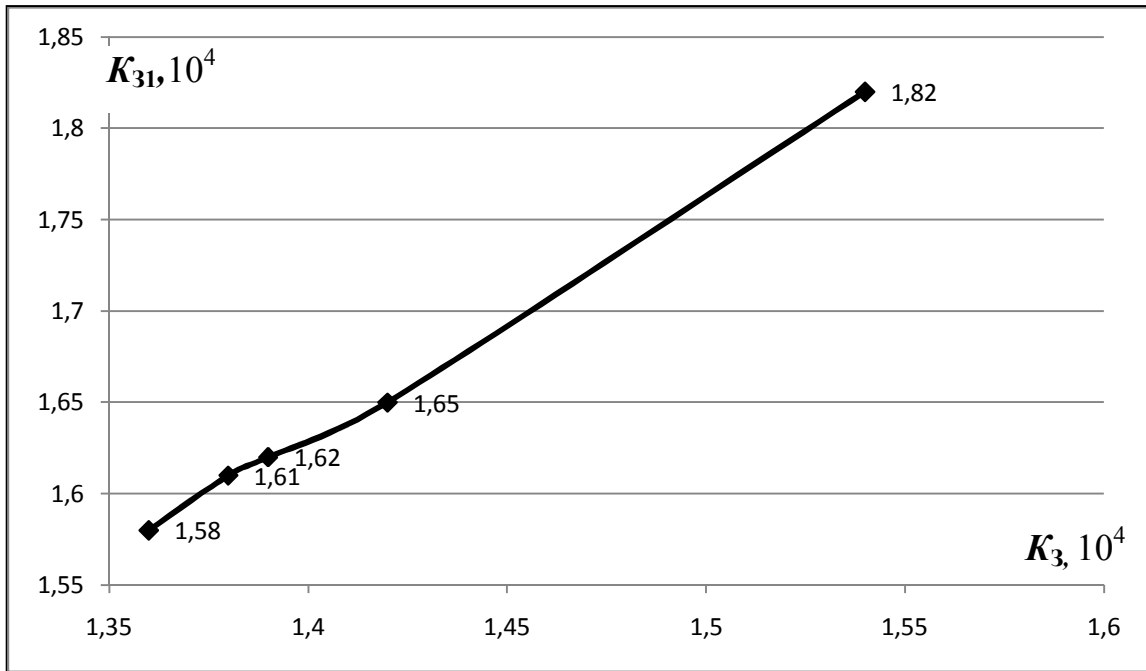


Рисунок 3 – Залежність загального коефіцієнта захисту при використанні шолом-маски від коефіцієнта захисту повітропровідної системи

Висновки: У міру збільшення перевірного тиску підсос збільшується. У свою чергу загальний коефіцієнт захисту збільшується пропорційно коефіцієнту захисту повітропровідної системи.

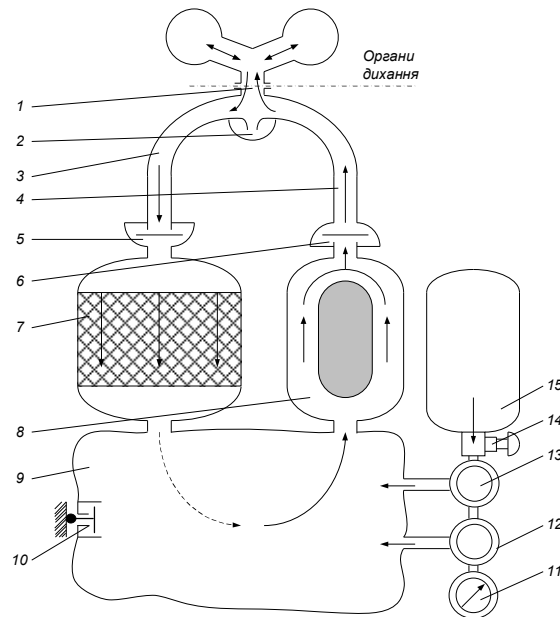
Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДАЧІ КИСНЮ.

Мета роботи – оцінка рівня легеневої вентиляції при виконанні в апаратах роботи різного ступеня важкості.

Експериментальна частина

Принципова схема регенеративного дихального апарата.



- | | |
|----------------------------|--|
| 1 – лицьова частина; | 9 – дихальний мішок; |
| 2 – вологозбірник; | 10 – збитковий клапан; |
| 3 – шланг видиху; | 11 – контрольний прилад; |
| 4 – шланг вдиху; | 12 – пристрій додаткової подачі кисню; |
| 5 – клапан видиху; | 13 – пристрій основної подачі кисню; |
| 6 – клапан вдиху; | 14 – запірний пристрій; |
| 7 – регенеративний патрон; | 15 – кисневий балон |
| 8 – холодильник; | |

Принцип дії регенеративного дихального апарата:

- замкнута ізольована система (закрита система дихання);
- очищення повітря, яке видихнув газодимозахисник, від вуглекислого газу;
- перемішування очищеного повітря з киснем, що надійшов додатково.

Порядок виконання

1. Виконати першу перевірку РДА
2. Після прибуття до місця дослідження за командою командира ланки виконати оперативну перевірку.
3. За командою командира ланки включитися до апарата та виконати відповідну роботу:
 - спокійна;
 - легка;
 - середньої важкості;
 - важка;
 - дуже важка.
4. Для кожного випадку заміряти початковий та кінцевий тиск (МПа), час виконання відповідної роботи (хвилин). Отримані результати занести до таблиці.
5. Визначити показники подачі кисню q за результатами вимірювань для відповідної роботи та занести їх до таблиці:

$$q = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t},$$

де $P_{\text{поч}}$ – початковий тиск у балоні;

$P_{\text{кін}}$ – кінцевий тиск у балоні;

$P_{\text{а}}$ – атмосферний тиск;

$V_{\text{б}}$ – об'єм балона;

t – час роботи.

6. Побудувати залежність подачі кисню від важкості роботи.

Таблиця – Результати дослідження

№ з/п	Характер роботи	$P_{\text{поч}}, \text{МПа}$	$P_{\text{кін}}, \text{МПа}$	$t, \text{хв.}$	$q, \text{л/хв.}$
1.	Спокiна	19,0	18,9	5	0,4
2.	Легка	18,9	18,7	5	0,8
3.	Середньої важкостi	18,7	18,4	5	1,2
4.	Тяжка	18,4	18,0	5	1,6
5.	Дуже тяжка	18,0	17,5	5	2

Мiсце для розрахункiв

$$q_1 = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(19 - 18,9) \cdot 2}{0,1 \cdot 5} = 0,4 \text{ л/хв.};$$

$$q_2 = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(18,9 - 18,7) \cdot 2}{0,1 \cdot 5} = 0,8 \text{ л/хв.};$$

$$q_3 = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(18,7 - 18,4) \cdot 2}{0,1 \cdot 5} = 1,2 \text{ л/хв.};$$

$$q_4 = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(18,4 - 18) \cdot 2}{0,1 \cdot 5} = 1,6 \text{ л/хв.};$$

$$q_5 = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_{\text{б}}}{P_{\text{а}} \cdot t} = \frac{(18 - 17,5) \cdot 2}{0,1 \cdot 5} = 2 \text{ л/хв.}$$

$q_{п}$, л/хв.

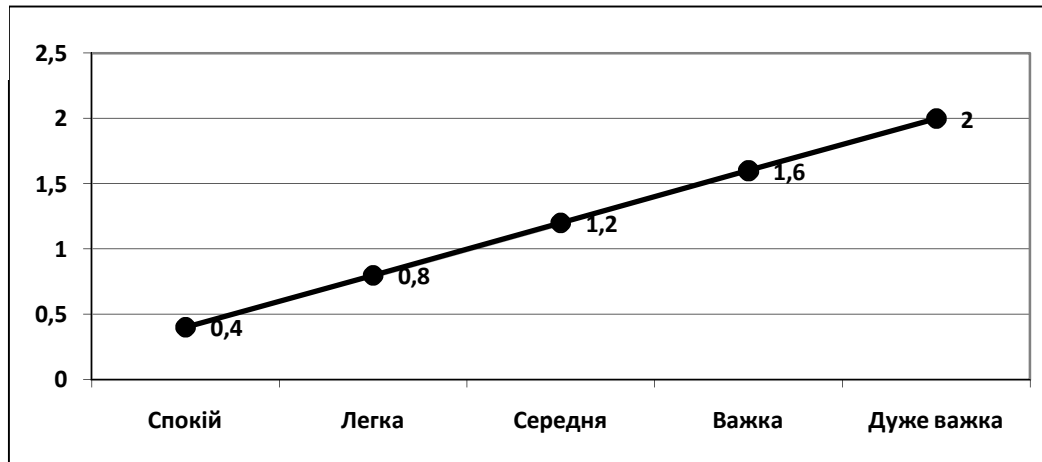


Рисунок – Залежність легеневої вентиляції від характеру роботи

Висновки: Подача кисню збільшується у міру збільшення важкості роботи, але її підвищення не суттєве та не відрізняється від показників нормативної літератури.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕДУКТОРА ПРЯМОЇ ДІЇ

Мета лабораторної роботи – оцінка особливостей використання ізолюючих апаратів, які обладнано редукторами прямої дії, у той час, коли первинний тиск p_1 менше розрахункового $p_{\text{рбб}}$.

Експериментальна частина

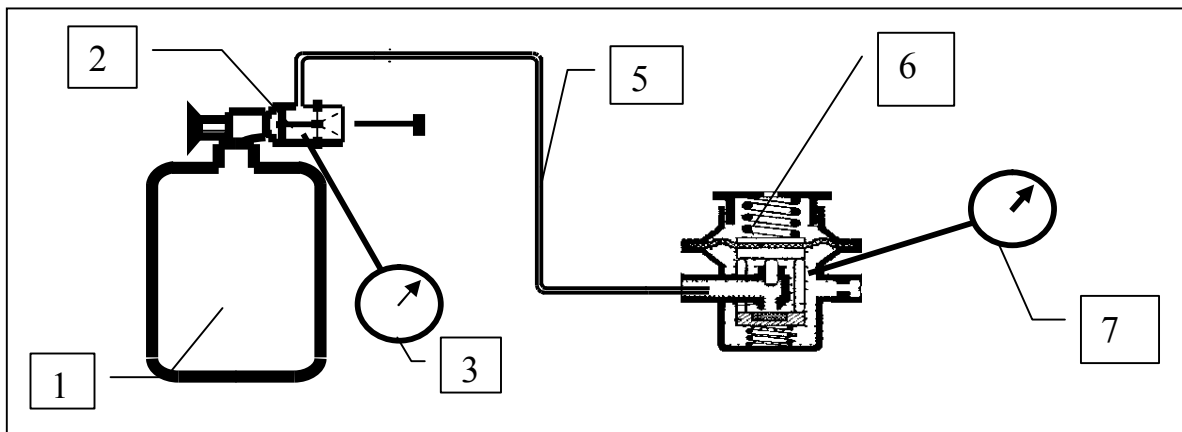


Рисунок – Схема лабораторної установки

1 – балон зі стисненим газом; 2 – редуктор АСВ-2; 3 – манометр редуктора АСВ-2;
4 – регулювальна гайка; 5 – трубопровід; 6 – редуктор РДА (редуктор прямої дії);
7 – манометр редуктора прямої дії

Контрольні питання:

Редуктор прямої дії призначений для:

- зниження перемінного високого тиску кисню, що надходить з кисневого балона з 20–3 МПа (200–30 кгс/м²) до постійного низького тиску в камері редуктора в діапазоні 0,58–0,4 МПа (5,8–4,0 кгс/см²);
- забезпечення постійної подачі кисню через дозуючий отвір у систему протигазу в кількості $1,4 \pm 0,2$ л/хв.;
- забезпечення роботи легеневого автомата з механізмом подачі кисню.

Порядок виконання

1. Зібрати схему з подачею первинного тиску p_1 безпосередньо від балона. **Увага! Вентиль балона має бути закритим!**
2. Відкрити балон та заміряти тиск p_2 в камері РДА (редуктора прямої дії). Результати занести до таблиці. Закрити вентиль.
3. Зібрати схему з подачею первинного тиску p_1 з редуктора АСВ-2.
4. Відкрити балон та за допомогою регулювальної гайки 4 встановити первинний тиск p_1 на рівні 1,3–1,4 МПа. Заміряти тиск p_2 . Результати занести до таблиці.
5. Зменшувати за допомогою регулювальної гайки 4 первинний тиск p_1 та замірювати при цьому тиск p_2 в камері редуктора прямої дії. Результати занести до таблиці.
6. Побудувати залежність тиску p_2 в камері редуктора прямої дії від первинного p_1 .
7. Зробити висновки.

Таблиця – Результати експериментальних досліджень

p_1 , МПа	p_2 , МПа
18	0,5
1,3	0,37
1,1	0,37
0,9	0,35
0,7	0,33
0,5	0,28
0,4	0,25
0	0

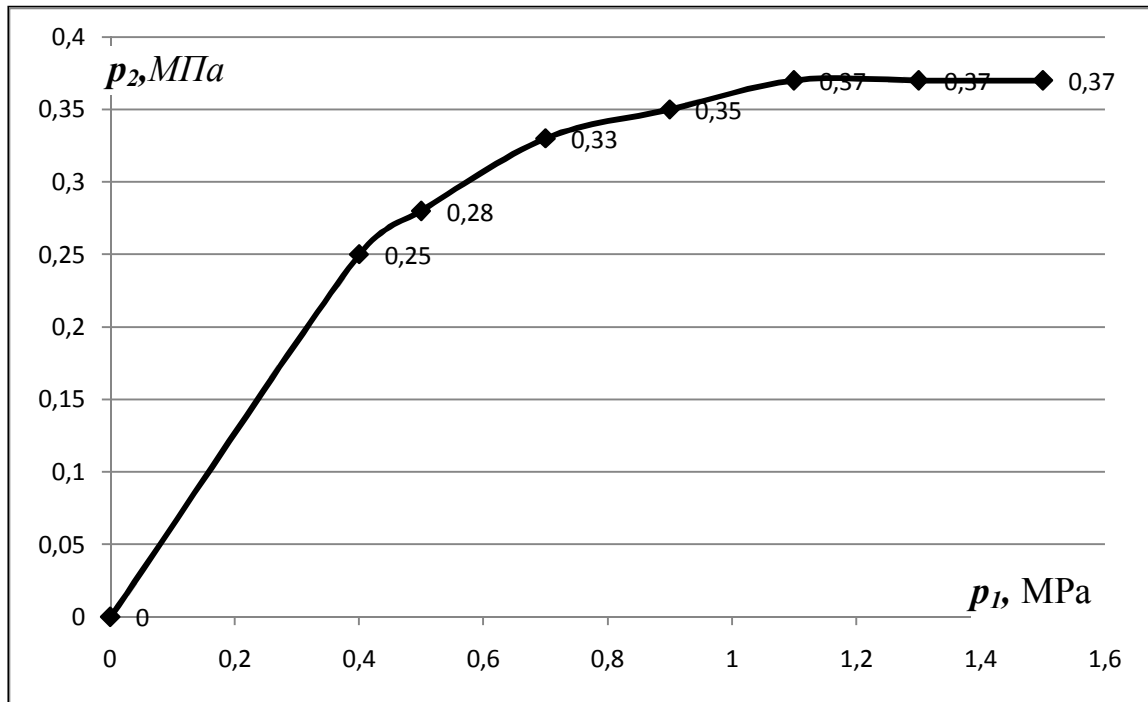


Рисунок – Залежність тиску в камері редуктора прямої дії від первинного тиску

Висновки:

В редукторі прямої, залежно від того, як первинний тиск стає менше розрахункового залишкового, тиск у камері редуктора також зменшується. При цьому цей тиск менше такого, за якого постійна подача буде забезпечувати поповнення очищеної від надлишкового вуглекислого газу газоповітряної суміші достатньою кількістю кисню. Тобто працювати в регенеративному дихальному апараті в цьому випадку забороняється.

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕДУКТОРА ЗВОРотної ДІЇ

Мета лабораторної роботи – оцінка особливостей використання ізолюючих апаратів, які обладнано редукторами прямої дії, у той час, коли первинний тиск p_1 менше розрахункового $p_{\text{лиш}}$.

Експериментальна частина

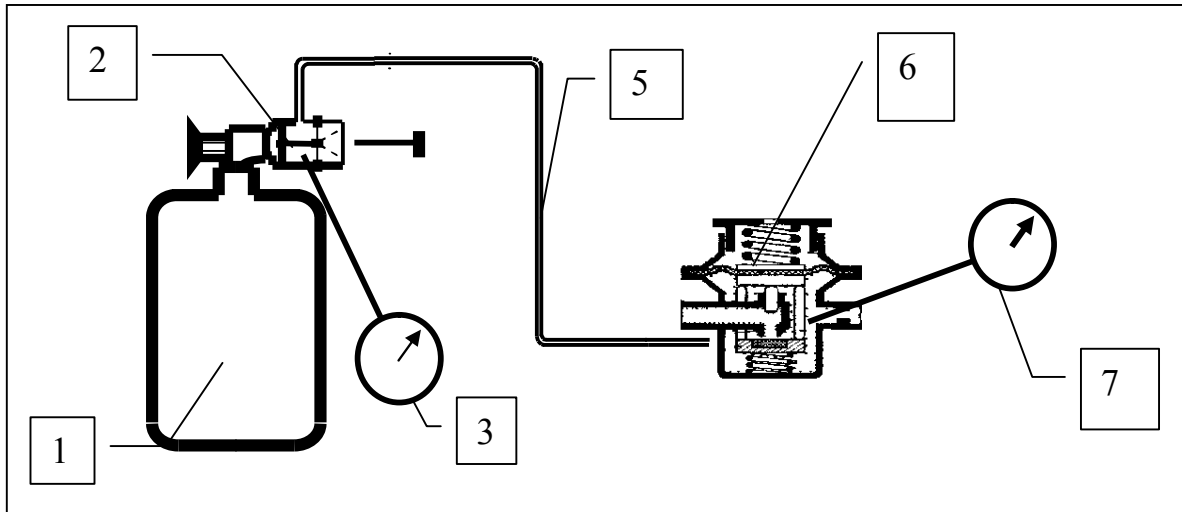


Рисунок – Схема лабораторної установки

1 – балон зі стиснутим газом; 2 – редуктор АСВ-2; 3 – манометр редуктора АСВ-2;
4 – регулювальна гайка; 5 – трубопровід; 6 – редуктор АСВ-2 (редуктор зворотної дії); 7 – манометр редуктора зворотної дії

Контрольні питання:

Призначення редуктора АСВ-2:

Редуктор призначений для зниження перемінного високого (первинного) тиску в балонах у діапазоні від 19,6 до 1,0 МПа до постійного низького (вторинного) тиску 0,45–0,50 МПа. В апараті застосовується мембранний редуктор зворотної дії (з тиском повітря на клапан).

Порядок виконання

1. Зібрати схему з подачею первинного тиску p_1 безпосередньо від балона. **Увага! Вентиль балона має бути закритим!**
2. Відкрити балон та заміряти тиск p_2 в камері АСВ-2. Результати занести до таблиці. Закрити вентиль.
3. Зібрати схему з подачею первинного тиску p_1 з редуктора АСП-2.
4. Відкрити балон та за допомогою регулювальної гайки 4 встановити первинний тиск p_1 . Заміряти тиск p_2 . Результати занести до таблиці.
5. Зменшувати за допомогою регулювальної гайки 4 первинний тиск p_1 та замірювати при цьому тиск p_2 в камері редуктора зворотної дії. Результати занести до таблиці.
6. Побудувати залежність тиску p_2 в камері редуктора зворотної дії від первинного p_1 .
7. Зробити висновки.

Таблиця – Результати експериментальних досліджень

p_1 , МПа	p_2 , МПа
18	0,5
9	0,5
5	0,5
1,5	1,1
1,3	1,05
1,1	1
0,9	0,9
0,8	0,8
0,6	0,6
0,4	0,4
0,2	0,2
0	0

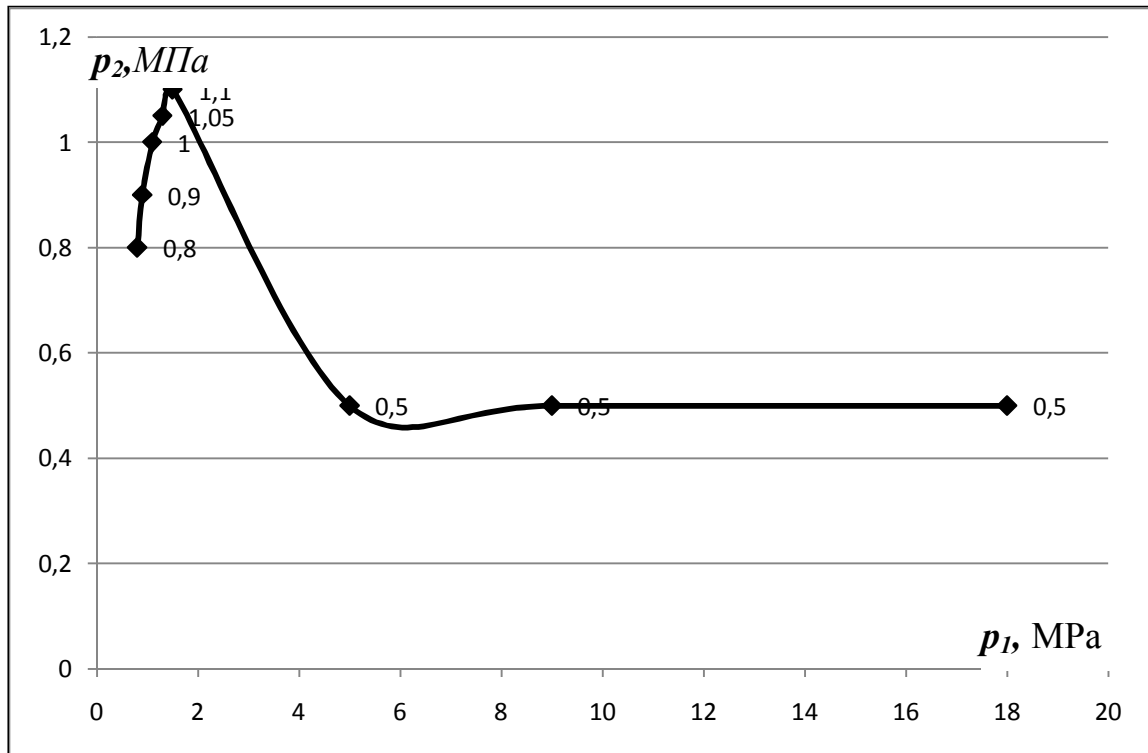


Рисунок – Залежність тиску в камері редуктора зворотної дії від первинного тиску

Висновки:

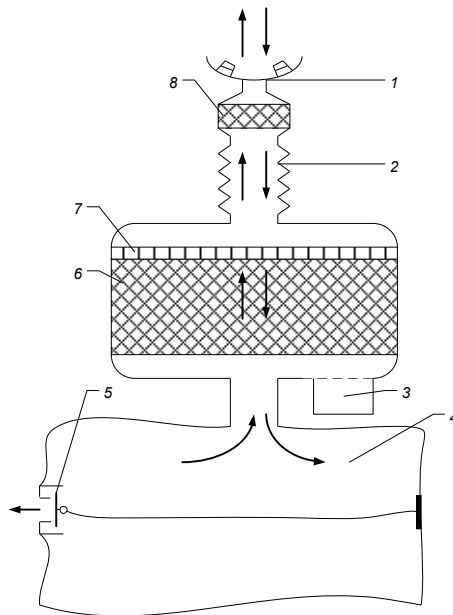
В редукторі зворотної залежно від того, як первинний тиск стає менше розрахункового залишкового, тиск в камері редуктора збільшується до тих пір, поки не зрівняється з первинним. Це свідчить про те, що в апаратах, які обладнано редукторами зворотної дії, можна працювати до тих пір, поки є повітря в резервуарі.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ДІЯЛЬНОСТІ
ВІД ТИПУ ІЗОЛЮЮЧОГО АПАРАТА**

Мета роботи: Порівняльна оцінка ефективності використання різноманітних ізолюючих апаратів.

Експериментальна частина

Принципова схема апарата на хімічно зв'язаному кисню (АХЗК).



1 – лицьова частина; 2 – дихальний шланг; 3 – пусковий пристрій; 4 – дихальний мішок; 5 – збитковий клапан; 6 – регенеративний патрон; 7 – фільтр; 8 – тепловологообмінник

Принцип дії АХПК

- замкнута ізольована система (закрита система дихання);
- очищення повітря, яке видихнув газодимозахисник, від вуглекислого газу та виділення кисню за рахунок хімічної реакції.

Обладнання:

- апарат (РДА, АСП, АХПК);
- сходинки (висотою 25 см та 50 см);
- секундомір.

Порядок виконання

1. Виконати першу перевірку АСП та РДА.
2. Розбити групу тих, хто навчається, на ланки з двох-трьох чоловік (№ 1 працює в РДА; № 2 – в АСП; № 3 – в апараті на хімічно зв'язаному кисню).
3. Після прибуття до місця дослідження за командою командира ланки (№1) другому номеру виконати оперативну перевірку АСП. Записує результати дослідження третій номер.
4. За командою командира ланки № 2 включитися до апарата та виконати відповідні тести:
 - метод функціональної проби з дозованим фізичним навантаженням (підйом протягом 4 хвилин по чергово через 2 хвилини на сходи висотою 25 та 50 см зі швидкістю 20 сходів за хвилину);
 - динамічної стійкості (рух на відстань 10 м по прямій лінії із закритими очима після 3–5 обертів);
 - Гарвардський степ-тест (підйом на сходинку висотою 50 см та спуск з неї протягом 5 хвилин зі швидкістю 30 сходів за хвилину).
5. У першому випадку заміряємо ЧСС на початку четвертої хвилини, у другому – відхилення від осі, у третьому – ЧСС за 20 секунд: з 60-ї до 90-ї секунди; з 120-ї до 150-ї та з 180-ї до 210-ї секунд. Отримані результати занести до таблиць.
6. Змінити командира ланки, яким призначається № 3. За його командами під контролем викладача першому номеру здійснити оперативну перевірку РДА та виконати вправи за п.п. 3-5. Записує результати другий номер.
7. Замінити командира ланки, яким призначається № 2. За його командами під контролем викладача третьому номеру здійснити оперативну перевірку АХПК та виконати вправи за п.п. 3-5. Записує результати перший номер.
8. Визначити показники фізичної працездатності, динамічної стійкості та адаптації до фізичних навантажень за результатами вимірювань для відповідних тестів та занести їх до таблиці.

9. Побудувати залежність працездатності від типу ізолюючого апарата.
10. Побудувати залежність здатності орієнтуватись у просторі від типу ізолюючого апарата.
11. Побудувати залежність адаптації до фізичного навантаження від типу ізолюючого апарата.

Таблиця 1 – Результати вимірювань при виконанні тесту (метод функціональної проби з дозованим фізичним навантаженням) для визначення фізичної працездатності

Досліджуваний	Апарат	М, кг	М ₁ , кг	f ₁ , хв ⁻¹	f ₂ , хв ⁻¹	f, хв ⁻¹
1. Петров	РДА	72	11,8	80	100	20
2. Петров	АСП	72	15	75	110	20
3. Петров	АХПК	72	3,5	90	120	20

Таблиця 2 – Результати вимірювань при виконанні тесту на динамічну стійкість для порівняння здатності орієнтуватися у просторі

Досліджуваний	Апарат	L, м	t, с
1. Смирнов	РДА	1,5	9,2
2. Смирнов	АСП	0,3	5,5
3. Смирнов	АХПК	1,1	7

Таблиця 3 – Результати вимірювань при виконанні Гарвардського степ-тесту для визначення адаптації до фізичних навантажень

Досліджуваний	Апарат	t, с	f ₁ , хв ⁻¹	f ₂ , хв ⁻¹	f ₃ , хв ⁻¹
1. Власов	РДА	210	25	40	55
2. Власов	АСП	210	30	45	60
3. Власов	АХПК	210	35	50	70

Розрахункова частина

1. Визначити фізичний рівень працездатності досліджуваних:

$$PWS_{170} = \frac{N_1 + (N_2 - N_1) \times \frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}}{M},$$

де f_1 та f_2 – ЧСС на початку 4-ої хвилини виконання вправи відповідно до першого та другого навантаження, удар/хв;

M – маса тіла, кг;

N_1 та N_2 – потужність виконаної роботи при першому та другому навантаженні, кг*м/хв;

$$N = f \cdot (M - M_1) \cdot h,$$

де $f = 20$ – швидкість сходів, хв⁻¹;

h – висота сходів, м;

M_1 – маса апарату, кг.

2. Визначити рівень динамічної стійкості (здатності орієнтуватися у просторі) у досліджуваних:

$$ДС = \Delta L \cdot t,$$

де L – відхилення від осі, м;

t – час проходження, с.

3. Визначити рівень адаптації до фізичних навантажень у досліджуваних:

$$\text{ІГСТ} = \frac{t \times 100}{(f_1 + f_2 + f_3) \times 2},$$

де t – фактичний час виконання навантаження, с;

f_1, f_2, f_3 – ЧСС за 30 с за час з 60-ї до 90-ї с, зі 120-ї до 150-ї та зі 180-ї до 210-ї с відповідно.

Таблиця 4 – Результат дослідів

Апарат	Досліджуваний	PWS	ІГСТ	ДУ
РДА	1. Петров	19,5	95	12,1
	2. Смирнов	19,0	93	13,8
	3. Власов	19,8	91	11,5
	Математичне очікування	19,43	93	11,5
АСП	1. Петров	18,3	87	2,2
	2. Смирнов	18,5	83	1,65
	3. Власов	18,0	85	2,5
	Мат. очікування	18,27	85	2,12
АХЗК	1. Петров	17,5	78	7,5
	2. Смирнов	17,7	80	7,7
	3. Власов	18,0	81	8,1
	Математичне очікування	17,74	79,7	7,77

Місце для розрахунків

$$N_{1-1} = f \cdot (M - M_1) \cdot h_1 = 20 \cdot (72 - 11,8) \cdot 0,25 = 301;$$

$$N_{1-2} = f \cdot (M - M_1) \cdot h_2 = 20 \cdot (72 - 11,8) \cdot 0,5 = 602;$$

$$N_{2-1} = f \cdot (M - M_2) \cdot h_1 = 20 \cdot (72 - 15) \cdot 0,25 = 285;$$

$$N_{2-2} = f \cdot (M - M_2) \cdot h_2 = 20 \cdot (72 - 15) \cdot 0,5 = 570;$$

$$N_{3-1} = f \cdot (M - M_3) \cdot h_1 = 20 \cdot (72 - 3,5) \cdot 0,25 = 342,5;$$

$$N_{3-2} = f \cdot (M - M_3) \cdot h_2 = 20 \cdot (72 - 3,5) \cdot 0,5 = 685;$$

$$PWS_{170-1} = \frac{N_1 + (N_2 - N_1) \cdot \frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}}{M} = \frac{301 + (602 - 301) \cdot \frac{170 - 100}{100 - 80}}{72} = 19,5;$$

$$PWS_{170-2} = \frac{N_1 + (N_2 - N_1) \cdot \frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}}{M} = \frac{285 + (570 - 285) \cdot \frac{170 - 110}{110 - 75}}{72} = 18,3;$$

$$PWS_{170-3} = \frac{N_1 + (N_2 - N_1) \cdot \frac{170 - f_1}{f_2 - f_1}}{M} = \frac{342,5 + (685 - 342,5) \cdot \frac{170 - 120}{120 - 90}}{72} = 17,5;$$

$$ДС_1 = \Delta L \cdot t = 1,5 \cdot 9,2 = 13,8;$$

$$ДС_2 = \Delta L \cdot t = 0,3 \cdot 5,5 = 1,65;$$

$$ДС_3 = \Delta L \cdot t = 1,1 \cdot 7 = 7,7;$$

$$ІГСТ_1 = \frac{t \cdot 100}{(f_1 + f_2 + f_3) \cdot 2} = \frac{210 \cdot 100}{(25 + 40 + 55) \cdot 2} = 91;$$

$$ІГСТ_2 = \frac{t \cdot 100}{(f_1 + f_2 + f_3) \cdot 2} = \frac{210 \cdot 100}{(30 + 45 + 60) \cdot 2} = 85;$$

$$ІГСТ_3 = \frac{t \cdot 100}{(f_1 + f_2 + f_3) \cdot 2} = \frac{210 \cdot 100}{(35 + 50 + 70) \cdot 2} = 81.$$

PWS

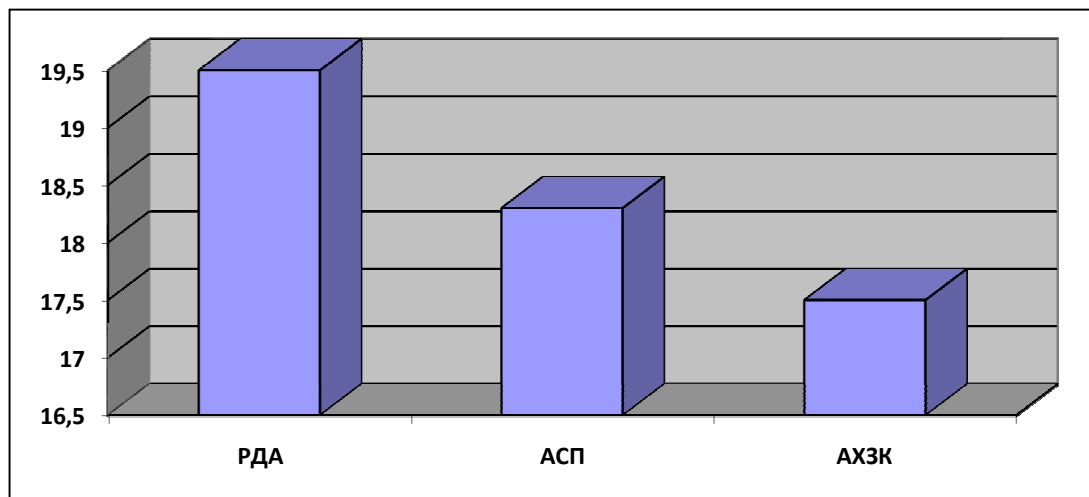


Рисунок 1 – Залежність працездатності від типу ізолюючого апарата

ДС

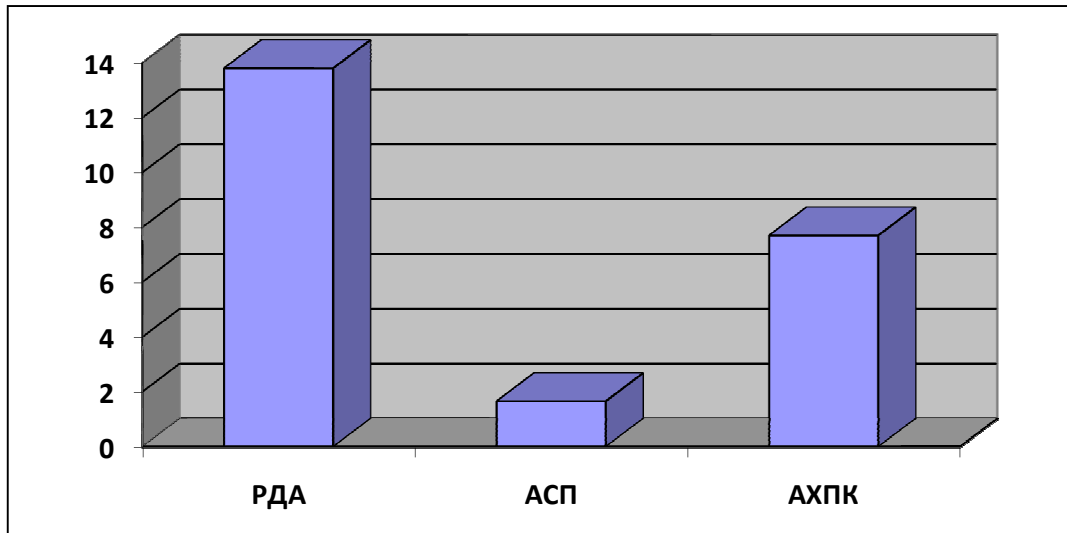


Рисунок 2 – Залежність динамічної стійкості від типу ізолюючого апарата

ІГСТ

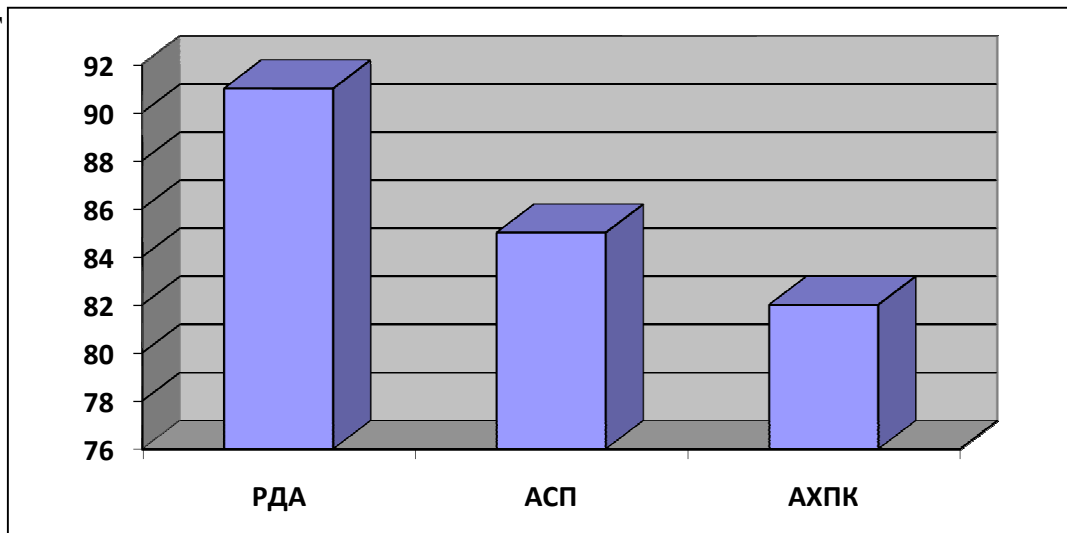


Рисунок 3 – Залежність адаптації від типу ізолюючого апарата

Висновки: Найбільш ефективним для виконання в непридатному для дихання середовищі оперативної роботи, яка пов'язана зі значним фізичним навантаженням протягом більше 5 хвилин, є використання регенеративних дихальних апаратів зі стисненим киснем. Найменш ефективним – регенеративних дихальних апаратів на хімічно зв'язаному кисню. При виконанні робіт, які вимагають здатності добре орієнтуватися в просторі, не виконуючи при цьому важкої роботи, самими ефективними є апарати на стисненому повітрі.

Лабораторна робота № 8

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗАХИСНОЇ ДІЇ ВАПНЯНОГО ХІМПОГЛИНАЧА

Мета роботи – визначити придатність вапняного хімпоглиначача за часом захисної дії

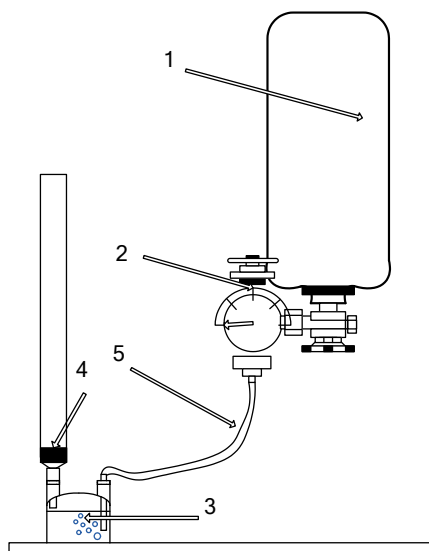
Експериментальна частина

Сутність визначення часу захисної дії поглиначача полягає у встановленні зміни ваги проби ХПВ, який піддали обробці вуглекислим газом.

Необхідні прилади і реактиви:

1. Прилад для визначення часу захисної дії ХПВ.
2. Аналітичні ваги.

Схема приладу для визначення часу захисної дії ХПВ.



- 1 – вогнегасник з вуглекислою; 2 – редуктор з манометром; 3 – бачок із водою;
4 – скляна трубка з металевією сіткою; 5 – гумова трубка

Контрольні питання:

Що таке хемосорбція?

Хемосорбція – процес сорбції, при якому речовина, що поглинається, і

поглинач (хемосорбент) взаємодіють хімічно, у результаті чого утворюється нова хімічна сполука.

Порядок виконання:

I. Підготовка приладу і проби:

1. Заповнити бачок на 1/2 водою;
2. Зарядити вогнегасник вуглекислою;
3. Приєднати редуктор до вуглекислотного вогнегасника і гумовою трубкою з'єднати його з металеву трубкою бачка з водою;
4. Відважити на вагах 10 г. проби і помістити її на металеву сітку скляної трубки.

II. виконання аналізу:

1. Відкрити вентиль вуглекислотного вогнегасника.
2. Шляхом обертання головки редуктора за годинниковою стрілкою подати вуглекислий газ у бачок з водою. Подача вуглекислоти виконується безупинно невеликим потоком пухирців до повного охолодження хімічного поглинача і випару вологи зі стінок скляної трубки.
3. Зважити ХПВ, після дії CO_2 .
4. Визначити величину приросту ваги ХПВ:

$$K_1 = A_2 - A_1 = 11,1 - 10 = 1,1 \text{ г,}$$

де: A_1 – вага ХПВ до впливу вуглекислою в г;

A_2 – вага ХПВ після впливу вуглекислою в г.

5. Визначити кількість CO_2 що припадає на 1 кг ХПВ:

10 гр. ХПВ - K_1 гр. CO_2

1000 гр. ХПВ - B_1 гр. CO_2 відкілья:

$$B_1 = K_2 \cdot \frac{K_1 \cdot 1000}{10} = 186,12 \text{ г}$$

де $K_2=1,692$ – коефіцієнт, одержуваний з розрахунку вологи, що виділяється при реакції.

6. Приймаючи середню величину вологи ХПВ 18,5 %, отримаємо кількість води в гр. що приходить на кг ХПВ:

1000 г ХПВ – 100%

GH_2O – 18,5%

Встановлено, що втрата вологості при нагріванні становить приблизно 50 % або $\alpha=0,5$,

звідки вага води, що випаровується при нагріванні (B_2), буде:

$$B_2 = \alpha \cdot \text{GH}_2\text{O} = 0,5 \cdot 185 = 92,5 \text{ г}$$

7. Визначити статичну ємність ХПВ

$$Q_1 = B_1 + B_2 = 186,12 + 92,5 = 278,62 \text{ г}$$

8. Перевести статичну ємність ХПВ в об'ємні одиниці:

$$Q = \frac{Q_1}{44} \cdot 22,4 = 141,84 \text{ л}$$

де 44 — молекулярна вага CO_2

22,4— обсяг однієї грам-молекули газу.

9. Визначити час захисної дії поглинача

$$t = \frac{Q}{m \cdot V} = \frac{Q}{1,6 \cdot 80} = \frac{141,84}{128} = 1,1 \text{ год.} = 66 \text{ хв.}$$

де $m=1,6$ – відношення динамічної і статичної активності ХПВ (за дослідженими даними)

$V= 80$ л/годину – кількість CO_2 , що видихує людина при виконанні роботи середньої важкості.

Висновки: Таким чином, 1 кілограма хімпоглинача, який досліджується, вистачить, щоб забезпечити роботу в ізолюючому протигазі протягом 66 хвилин.

Навчальне видання

Стрілець Віктор Маркович
Ковальов Павло Анатолійович
Бородич Павло Юрійович
Росоха Сергій Володимирович

**ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ**

Навчальний посібник

Підписано до друку 25.04.14 . Формат 60x84/16.
Папір 80 г/м². Друк ризограф. Ум.друк. арк. 22,9
Тираж 300 прим. Вид. № 122/14. Зам.№ 522/14 Обл.вид арк. 7,2

Сектор редакційно-видавничої діяльності

Національного університету цивільного захисту України

61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94

www.nuczu.edu.ua