

УДК 614.89

№ держреєстрації 0107U000376

Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет
(НГУ)

49005, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19; тел (0562) 47-32-09
факс 47-32-09; телекс 143457 "AGAT SU"; E-mail: HomenkoO@nmu.org.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи,
д-р техн. наук, проф.

_____ О. Бешта

" ____ " _____ 2008 р.

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ
ПРОТИПИЛОВИХ РЕСПІРАТОРІВ З НОВИХ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ
(заключний)

ГП-393

Начальник НДЧ,

канд. техн. наук, доц.

О. Хоменко

Зав. кафедри АОП, керівник НДР,

д-р техн. наук, проф.

В. Голінько

2008

Рукопис закінчено " ____ " грудня 2008 р.
Результати роботи розглянуто Вченою
радою НГУ, протокол № ____ від ____ .12.2008 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник,
головн. наук. співр., д-р
техн. наук

В.І. Голінько (Постановка завдань,
вступ, аналіз результатів, загальні
висновки, редагування звіту)

Відповідальний виконавець,
провідн. наук. співр., д-р
техн. наук

В.Є. Колесник (підрозділи 1.3; 2.1;
2.2.3; 4.1; 5,3; 6,3; 8,2, висновки за
розділами)

Виконавець ст. научн. сотр.,
канд. техн. наук,

С.І. Чеберячко (підрозділи 1.1; 2.1;
2.2.1; 3.1; 4.3; 6.1; 7,2; 8,1; 8,6,
результати експериментальних
досліджень на масляному тумані)

Виконавець, мол. наук. співр

Д.І. Радчук (підрозділи 1.3; 2.2.4;
2.2.5; 3,1; 4,2;5,4; 8,3; 8,4; 8,5,
результати експериментальних
досліджень механічного і
кліматичного впливу)

Виконавець, мол. наук. співр

Ю.І. Чеберячко (підрозділ 1.2; 5,2;
6,1; 6,2; 7,1, результати досліджень
в умовах шахт)

Виконавець, мол. наук. співр

М.В. Левченко (результати
експериментальних досліджень на
пиловому стенді)

Студент-лаборант

Є. В. Сіряний (участь в оформленні
матеріалів до заключного звіту)

Нормоконтроль

Л.О. Савостенко

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 215 с., 104 – рис., 49 – табл., 51 – посилань, 8 – додатків.

Об'єктом досліджень виступає ефективність протипилових респіраторів для гірників та шляхи її підвищення, а предметом – властивості нових фільтруючих матеріалів та конструктивні параметри і особливості засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД).

Метою роботи в цілому є підвищення ефективності засобів індивідуального захисту органів дихання, які використовуються на вугільних шахтах, на основі урахування впливу умов виробничого середовища гірничодобувних підприємств, та на основі використання нових фільтруючих матеріалів, а також виявлення впливу факторів виробничого середовища на захисні і ергономічні показники нових фільтруючих матеріалів та виготовлених з їх застосуванням ЗІЗОД

В НДР проаналізовані існуючі методи і засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), зокрема від вугільного пилу. Показано необхідність комплексного контролю факторів, що впливають на ЗІЗОД. Досліджено вплив на їх захисні й ергономічні показники факторів виробничого середовища гірничих виробок (вологості, запиленості). Виявлені основні властивості нових фільтруючих матеріалів з поліпропіленових волокон та оцінена можливість їх використання в умовах гірничодобувних підприємств. Встановлені основні залежності конструктивних параметрів респіратора від властивостей матеріалів з яких виготовляється фільтруючий елемент. Досліджено вплив конструкції півмаски на основні захисні і ергономічні показники ЗІЗОД стосовно шахтного пилу.

Обґрунтовані нові методи розрахунку показників нових фільтруючих матеріалів за захисною ефективністю; опором диханню; терміном дії. Запропоновано застосування у ЗІЗОД багат шарових фільтруючих матеріалів. Апробовані стенди та методики що необхідні для підготовки зразків ЗІЗОД та проведення їх відповідних випробувань за новими гармонізованими з європейськими стандартами. Показана необхідність підвищення надійності прилягання півмаски до обличчя працюючого. Запропоновані способи ущільнення смуги їх обтюрації.

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ, РЕСПІРАТОРИ, ФІЛЬТРУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ВЛАСТИВОСТІ І ПАРАМЕТРИ

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАХИСНІ І ЕРГОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ (ЗІЗОД)	8
1.1 Вимоги, пропоновані до протипилових ЗІЗОД.....	8
1.2 Аналіз властивостей основних вітчизняних фільтруючих респіраторів.....	11
1.3 Дослідження впливу факторів виробничого середовища гірничих підприємств на захисні і ергономічні показники ЗІЗОД.....	16
1.4 Виробничі іспити засобів індивідуального захисту органів дихання.....	25
1.5 Висновки.....	29
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НОВИХ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ	30
2.1 Аналіз основних показників фільтруючих матеріалів, що застосовуються при виготовленні ЗІЗОД для умов вугільних шахт	30
2.2 Результати досліджень показників нових фільтруючих матеріалів.....	33
2.2.1 Обґрунтування методів і методик досліджень.....	33
2.2.2 Дослідження перепаду тиску на поліпропіленових фільтруючих матеріалах.....	36
2.2.3 Дослідження пилоємності фільтруючих матеріалів на вугільному пилу..	42
2.2.4 Дослідження захисних властивостей нових фільтруючих матеріалів на масляному тумані.....	47
2.2.5 Перевірка впливу атмосферного тиску на властивості фільтруючих матеріалів.....	53
2.5 Висновки.....	54
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ НА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ФІЛЬТРІВ І РЕСПІРАТОРІВ	56
3.1 Вплив товщини фільтруючого шару, діаметра волокон і щільності упакування на основні показники фільтруючих елементів.....	56
3.2 Визначення параметрів фільтра в залежності від властивостей фільтруючих матеріалів.....	62
3.3 Висновки.....	72
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВМАСКИ НА ОСНОВНІ ЗАХИСНІ І ЕРГОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	73
4.1 Взаємозв'язок між захисною ефективністю і властивостями фільтруючих елементів.....	73
4.2 Дослідження механічного тиску напівмаски на м'які тканини обличчя людини.....	78

4.3. Оцінка впливу форми напівмаски одноразових респіраторів на їхні основні показники.....	84
4.4 Висновки.....	89
5 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА.....	91
5.1 Формулювання задач розрахунку показників фільтруючих матеріалів.....	91
5.2 Шляхи удосконалення існуючих методів розрахунку параметрів фільтруючих матеріалів.....	94
5.3 Розробка рекомендацій для врахування впливу кліматичних умов на забезпечення високої якості фільтруючих матеріалів.....	97
5.4 Дослідження експериментальних зразків поліпропіленових фільтруючих матеріалів.....	100
5.5 Висновки.....	102
6 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ФОРМИ І ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РЕСПІРАТОРА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВИДУ ФІЛЬТРУЮЧОГО МАТЕРІАЛУ.....	104
6.1 Обґрунтування методу розрахунку параметрів фільтруючих елементів для їх виготовлення з урахуванням типу фільтруючого матеріалу.....	104
6.2 Лабораторні і виробничі дослідження нових фільтруючих елементів.....	108
6.3 Перспективи подальшого розвитку конструкцій фільтруючих елементів до респіратору РПА-ТД.....	116
6.4 Висновки.....	120
7 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА ПІДВИЩЕНОЇ ПИЛОМІСТКОСТІ.....	122
7.1 Передумови виготовлення фільтруючого елемента підвищеної пиломісткості на основі багатошарових фільтрувальних елементів.....	122
7.2 Особливості розрахунку параметрів багатошарових фільтруючих елементів.....	124
7.3 Експериментальні дослідження ефективності багатошарових фільтруючих елементів.....	129
7.4 Висновки.....	130
8 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЛЕГКОГО ПРОТИПИЛОВОГО РЕСПІРАТОРА ТА ЙОГО ВИПРОБУВАННЯ.....	132
8.1 Аналіз причин необхідності удосконалення існуючих конструкцій легких півмасок.....	132
8.2 Методи випробувань.....	136
8.2.1 Методи оцінки захисних властивостей ЗІЗОД, регламентовані європейськими стандартами.....	136
8.2.2 Визначення опору диханню.....	141
8.3 Оцінка впливу на фільтрувальні матеріали температури нагріву.....	143
8.4 Оцінка механічного впливу на ефективність фільтрації матеріалів.....	144
8.5 Дослідження ефективності різних конструкцій смуг обтюрації.....	145

8.6 Шляхи підвищення захисної ефективності респіратора «Лепесток».....	149
8.6.1 Характеристики фільтрувальних матеріалів.....	149
8.6.2 Дослідження експериментальних зразків респіраторів.....	150
8.6.3 Результати дослідження протипилових респіраторів типу «Лепесток» на відповідність вимогам ДСТУ EN 149:2003.....	152
8.7 Висновки.....	154
ВИСНОВКИ.....	157
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	161
Додаток А. Методика виконання измерений коефіцієнта проникності респіраторов, фільтрующе-поглощающих коробок респіраторов, фільтров респіраторов и фільтрующих матеріалов по масляному туману.....	165
Додаток Б. Методика виконання измерений сопротивлення постоянному потоку воздуха фільтрующих коробок к противогазам и респіраторам, респіраторов, фільтров респіраторов и фільтрующих матеріалов.....	176
Додаток В. Протокол №3 испытаний респіраторов противоаэрозольных ПП «Лепесток» [®] FFP3 производства фирмы ООО НПП «Стандарт-2» (г. Днепропетровск) (заявитель – ООО НПП «Стандарт-2») для целей сертификации	188
Додаток Г. Результати досліджень фільтрувальних елементів до респіратора РПА-ТД	200
Додаток Д. Звіт про патентні дослідження з НДР „Наукове обґрунтування конструкції та параметрів протипилових респіраторів з нових фільтруючих матеріалів”.....	202
Додаток Е. Витяг з протоколу засідання кафедри АОП.....	211
Додаток Ж. Витяг з протоколу засідання науково-технічної ради НГУ за науковим напрямом "Прогресивні технології видобутку і переробки корисних копалин”.....	212
Додаток З. Рецензія.....	215

ВСТУП

Метою роботи в цілому є підвищення ефективності засобів індивідуального захисту органів дихання, що використовуються на вугільних шахтах, на основі урахування впливу умов виробничого середовища гірничодобувних підприємств та використання нових фільтруючих матеріалів.

Актуальність НДР обумовлена тим, що високий вміст пилу в повітрі робочої зони, а також труднощі нормалізації умов праці за пиловим фактором підсилюють проблему захворювання пневмоконіозом у гірничодобувній галузі України, від чого підвищується інвалідність, смертність, зменшується загальна тривалість життя шахтарів.

Одним із шляхів вирішення проблеми є використання високоефективних засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) від пилу. Найбільш поширеними серед них у гірничодобувній промисловості є респіратори ШБ-1 „Лепесток”, РПА, Астра-2, фільтруючі елементи котрих традиційно виготовлялись з матеріалу ФПП (фільтр Петрянова перхлорвініловий). Однак, сьогодні з'явилась значна кількість інших фільтруючих матеріалів, як і типу ФП (ФПС, ФПАН, С-11, РФМ, ФМП та ін.), так і поліпропіленових (типу НФП, елефлен та ін.) та металоволоконних, паперових, картонних та ін. Їх властивості суттєво відрізняються від властивостей матеріалу ФПП, а конструктивно респіратори за останні 50 років практично не змінювалися.

Аналіз особливостей розробки конструкцій ЗІЗОД показують, що існуючі методи їх розрахунку не забезпечують відповідної якості, більше того в деяких випадках навіть погіршують захисні властивості фільтруючих матеріалів з яких виготовлено фільтри. Для підвищення надійності захисту необхідне проведення досліджень властивостей нових фільтруючих матеріалів і розробка на їх основі нових конструкцій респіраторів. Основним принципом, покладеним в основу такої конструкції повинен бути принцип забезпечення відповідності якості фільтруючого елемента параметрам напівмаски респіратора з тим, щоб уникнути погіршення захисної ефективності за рахунок підсосу не фільтрованого повітря через нещільності по смузї обтюрації.

Основна ідея роботи полягає в комплексному підході до розрахунку і проектуванню конструкції півмаски респіратора з урахуванням параметрів виробничого середовища, властивостей нових фільтруючих матеріалів та антропометрії обличчя працюючих.

Теоретичною і практичною базою НДР виступають результати, котрі отримані виконавцями в області розроблення способів і засобів контролю запиленості повітря у вугільних шахтах, пилових промислових викидів та пилового навантаження гірників.

Підставою для проведення робіт є наказ Міністерства освіти і науки України від 27.10. 2006 р. № 732 і наказ по Національному гірничому університету від 20. 12. 2006 р. № 337

За темою випущений проміжний звіт за етапом 2007 р.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАХИСНІ І ЕРГОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ (ЗІЗОД)

1.1 Вимоги, пропонувані до протипилових ЗІЗОД

Відповідно до загальноприйнятої термінології [1] у засобах індивідуального захисту органів дихання відносяться пристрої, призначені для захисту органів дихання від небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що впливають на організм людини інгаляційно (через органи дихання).

Відповідно до класифікації, приведеної в ДСТ 12.4.031-85, усі ЗІЗОД за принципом дії поділяються на дві групи:

- фільтруючі – що забезпечують захист в умовах достатнього вмісту вільного кисню в повітрі; у залежності від призначення підрозділяються на три типи: ФП – призначені для захисту від пилу, ФГ – призначені для захисту від газів, ФГП – призначені для захисту від газу і пилу.;

- ізолюючі – що забезпечують захист в умовах недостатнього вмісту кисню і необмеженого вмісту шкідливих речовин.

До фільтруючих респіраторів відносяться пристрої, призначені для захисту органів дихання від небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що впливають на організм людини інгаляційно, тобто через органи дихання. По конструктивному оформленню їх можна розділити на дві групи: фільтруючі напівмаски, у яких фільтруючий елемент одночасно служить лицьовою частиною (рис. 1, а) і патронні респіратори (рис. 1.1, б) [1]. Основні вимоги до цих респіраторів сформульовані в ряді стандартів системи безпеки праці. Їх можна розділити на три групи (рис. 1.2) [2].

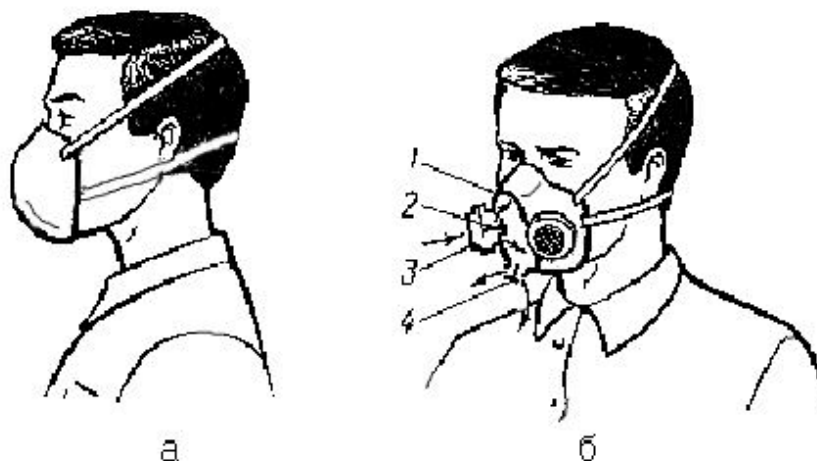


Рисунок 1.1– Конструкції респіраторів: а – фільтруюча напівмаска; б – патронний респіратор: 1 – напівмаска; 2 – клапан вдиху; 3 – фільтруючий патрон; 4 – клапан видиху

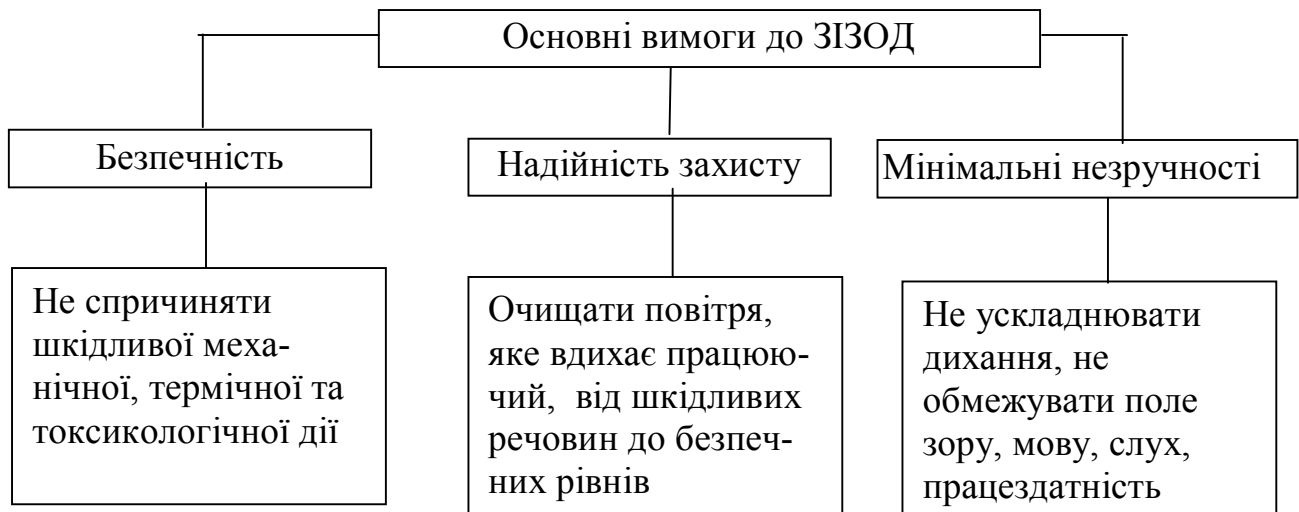


Рисунок 1.2 – Основні вимоги до ЗІЗОД

Перша група вимог не допускає використання в конструкції респіраторів токсичних матеріалів, здатних викликати механічні ушкодження шкіри чи обличчя або легко займистих матеріалів, що виділяють при нагріві які-небудь шкідливі речовини. Для виготовлення ЗІЗОД повинні застосовуватися фільтруючі матеріали, що характеризуються високими захисними властивостями при порівняно низькому опорі повітряному потоку. У зв'язку з появою великої кількості нових фільтруючих матеріалів, що мають різноманітні технічні характеристики, дуже актуальним є питання про можливість їх використання для виготовлення різних типів ЗІЗОД. Для цього, досліджуючи їх властивості, необхідно розробити рекомендації з застосування фільтруючих матеріалів для виготовлення тих чи інших респіраторів.

Друга група вимог стосується захисних властивостей респіраторів. Головною характеристикою будь-якого ЗІЗОД є коефіцієнт захисту K_z , що позначає кратність зниження концентрації шкідливої речовини, забезпечувану даним захисним пристроєм. Для його визначення експериментально знаходять коефіцієнт проникання K , що виражає відношення концентрації аерозолу в подмасочному просторі ЗІЗОД до загальної концентрації аерозолу в повітрі робочої зони:

$$K = \frac{n}{n_0} 100, \% \quad (1.1)$$

де n – показник, що характеризує концентрацію дисперсних часток, що проникли через виріб; n_0 – показник, що характеризує концентрацію дисперсних часток, що надходять у виріб.

За результатами визначення коефіцієнта проникання можна обчислити коефіцієнт захисту [40]

$$K_z = 100 / K \quad (1.2)$$

Другим характерним показником оцінки ефективності фільтрації є захисна ефективність \mathcal{E} , обумовлена формулою [40]

$$\mathcal{E} = 100 - K \quad (1.3)$$

Усі фільтруючі ЗІЗОД поділяються на три групи з різним ступенем захисту, що характеризуються коефіцієнтом K_3 : перша, – із $K_3 > 100$, гарантує захист при вмісті в повітрі шкідливих речовин у концентраціях, що перевищують рівень гранично допустимої концентрації (ГДК) більш ніж у 100 разів; друга, – з $10 < K_3 < 100$, гарантує захист при вмісті в повітрі шкідливих речовин у концентраціях, що перевищують рівень ГДК не більш ніж у 100 раз; третя, – із $K_3 < 10$, гарантує захист при вмісті в повітрі шкідливих речовин у концентраціях, що перевищують рівень ГДК не більш ніж у 10 разів [4].

У зв'язку з переходом України на європейські стандарти, зокрема з уведенням ДСТУ EN 149:2003 "Напівмаски фільтрувальні для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування" буде введена інша класифікація ЗІЗОД (табл. 1.1): першому класу (FFP1) відповідає низька ефективність, третьому (FFP3) – висока.

Таблиця 1.1 – Розходження між ДСТ 12.4.041-89 і ДСТУ EN 149:2003 визначенню захисної ефективності ЗІЗОД

Вимоги за ДСТ 12.4.041-89		Вимоги по EN 149	
Ступінь захисту	Коефіцієнт проникання тест-аерозолі через ЗІЗОД, %	Ступінь захисту	Коефіцієнт проникання тест-аерозолі через ЗІЗОД, %
1	< 0,1	FFP3	< 5
2	< 1	FFP2	< 11
3	більш 1	FFP1	< 25

У європейських стандартах, прийнятий інший підхід до оцінки якості ЗІЗОД, хоча методи іспитів принципово не відрізняються. Насамперед, необхідно відзначити, що в ДСТУ EN 149:2003 з'явилася так звана підготовка виробів до іспитів, що відсутня у ДСТ 12.4.041-89. Вона полягає в тому, що перед іспитами одна частина виробів піддається температурному впливу (витримання 24 години при температурі +70°C і 24 години при -30°C). Друга частина фільтруючих напівмасок перед визначенням захисних властивостей піддається «моделюванню режиму носки», коли через виріб, надягнутий на муляж голови, проходить двосторонній повітряний потік зі штучним зволоженням «видихуваного» повітря. Крім того, у ДСТУ EN 149:2003 передбачено іспити виробів не тільки при 30 л/хв, але і при 95 л/хв. Тому виникає необхідність у вивченні впливу температури на основні характеристики вітчизняних респіраторів.

Третя група вимог формулює ергономічні показники ЗІЗОД, що характеризують їх можливий вплив на фізіологічні функції і працездатність людини. До ергономічних показників відносяться величини опору дихання, вмісту вуглекислого газу у вдихуваному повітрі, маса ЗІЗОД, механічний тиск маски на обличчя. Величини цих показників регламентуються у відповідних стандартах на ЗІЗОД з урахуванням їх класифікації, конструктивних і експлуатаційних властивостей. Однак цифрові значення ергономічних характеристик не обґрунтовані психофізіологічними реакціями людини, а враховують лише можливий технічний рівень розробки ЗІЗОД у даний період. У зв'язку з цим, багато конструкцій сучасних ЗІЗОД, що відповідають вимогам стандартів, особливо при виконанні важкої фізичної роботи, викликають несприятливий вплив і негативні суб'єктивні реакції, що знижують працездатність, підвищують втому, особливо в обличчі, з порушенням здоров'я у страждаючих клаустрофобією (острах замкнутого простору). Тому сьогодні необхідно провести дослідження впливу ЗІЗОД на фізіологічні реакції людини для того, щоб установити оптимальний час роботи, або запропонувати удосконалені конструкції респіраторів з використанням нових фільтруючих матеріалів для розробки фільтруючих елементів з більш низьким опором диханню.

Таким чином, актуальним стають питання про дослідження кліматичних параметрів на основні показники якості ЗІЗОД; виявлення можливості використання нових фільтруючих матеріалів для виготовлення респіраторів; дослідження впливу на фізіологічні показники людини з метою удосконалення існуючих і розробки нових конструкцій ЗІЗОД.

1.2 Аналіз властивостей основних вітчизняних фільтруючих респіраторів

Основними виробниками фільтруючих респіраторів на Україні є НВО «Фільтр» (м. Горлівка, Донецька область), НВП «Стандарт» (м. Дніпропетровськ), Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини. Спектр їхньої продукції наведений у табл. 1.2, де зазначені основні технічні характеристики ЗІЗОД.

Респіратор ШБ-1 «Пелюсток» представляє собою легку напівмаску, що виготовляється традиційно з матеріалу ФПП (фільтр Петрянова, перхлорвініловий), що служить одночасно і фільтром (рис. 1.3а). У неробочому стані респіратор має форму круга. Виготовляється трьох марок, що відрізняються, типами фільтруючого матеріалу ФПП, ступенем захисту і кольором зовнішнього кола. До достоїнств відносять: зручність експлуатації, надійний захист, порівняно низький опір органам дихання, простоту у виготовленні. До недоліків: незручне оголів'я, складність при припасуванні смуги обтюрації, намокання фільтруючого полотна від видихуваної вологи, що приводить до різкого росту опору на вдиху, втрати електростатичного заряду і як результат зниження захисних властивостей та малий термін служби.

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики протипилових респіраторів, що випускаються промисловістю України

Тип респіратора	Початковий опір не більш, Па		Ступінь захисту за ДСТ 12.4.041- 89	Виробник
	на вдику	на видику		
Одноразові респіратори				
ШБ-1 Лепесток-200	40	40	1	НПП «Стандарт» ФХИЗОС і Ч
ШБ-1 Лепесток-40	14	14	2	
Аліна-П	40	40	1	ФХИЗОС и Ч
Снежок-П	30	15	2	
Дельта	40	40	2	
Антарекс-П	30	15	2	
Акація-П	40	15	2	
Росток-2	30	30	2	
Росток-3	15	15	3	МПК «Фільтр»
Росток - 1П (ПК)	40	40 (15)	1	
Росток - 2П (ПК)	30	30 (15)	2	
Росток – 2Ф (ФК)	30	30 (15)	2	
Росток – 3П (ПК)	20	20 (15)	3	
Росток – 3Ф (ФК)	20	20 (15)	3	
Респіратори багаторазового використання				
РПА-ТД-1	55	25	2	НПП «Стандарт»
РПА-ТД-2	25	25	2	
Пульс-К	20	15	2	МПК «Фільтр»
Пульс-М	55	25	2	
Одисей	40	25	2	ФХИЗОС и Ч
Клен-П	26	25	2	

Респіратор «Аліна» аналогічний респіратору «Лепесток» тих же марок. Відрізняється від них наявністю розпірки у вигляді «вісімки» з отвором у центрі для клапана видиху, що служить для відводу видихуваної вологи. До достоїнств варто віднести порівняно більший час захисної дії, ніж у респіратора «Пелюсток».

Респіратор «Снежок-П» призначений для захисту від шкідливих аерозолів (пилу, диму, туману). Складається зі змінного фільтруючого елемента і постійного каркаса з отвором для клапана видиху. Як фільтруючі елементи традиційно використовуються матеріали ФП. Однак, з'являються і респіратори, виготовлені з поліпропіленових матеріалів. Конструкція дозволяє багаторазово використовувати всі деталі при зміні відпрацьованого фільтруючого елемента. Клапан видиху дозволяє застосовувати цей респіратор у більш широкому діапазоні виробничих умов по мікроклімату і важкості фізичної роботи, ніж

безклапанні респіратори. Перевагою є також і каркасність, що забезпечує надійне утримання респіратора на обличчі. До недоліків відносять недосконалу конструкцію обтюратора через твердий каркас, не завжди можливе точне припасування до обличчя, складності з експлуатацією, оскільки багаторазове використання вимагає кваліфікованого обслуговування.



Рисунок 1.3 – Конструкції вітчизняних респіраторів: а – ШБ-1 «Лепесток»; б – "антарекс"; у – "дельта"; м – "сніжок"; д – "росток -3Ф"; е – "росток -2"; з – "росток 2П"; ж – К; и – РПА-ДТ-2; к – РПА-ДТ-1; л – одисей; м – "клен"

Респіратор «Дельта» представляє собою трикутну фільтруючу напівмаску з матеріалу на основі синтетичних ультра тонких волокон, оснащену легким каркасом, що фіксує форму, притискною пластинкою в області перенісся і регульованим оголів'ям. По периметру напівмаски ушита смуга з фільтруючого

матеріалу з еластичним шнуром усередині, що забезпечує регулювання розміру напівмаски. До переваг відносять можливість більш тривалого, ніж у респіраторів «Пелюсток», повторного застосування (при знятті респіратора під час перерв), за рахунок багат шарового обтюратора. При забрудненні зовнішнього шару (смуги) обтюратора його можна видалити, а наявність другого чистого шару матеріалу дозволить продовжити експлуатацію респіратора. Однак конструкція не забезпечує м'яке і рівномірне прилягання до обличчя (смуга поролону закріплена на зовнішній стороні напівмаски і виконує функцію арматури).

Респіратор «Антарекс-П» виготовляється з двох шарів фільтруючого матеріалу. Зовнішній шар забезпечує очищення від грубодисперсних часток, внутрішній – від тонкодисперсних. До недоліків відносять недосконалість смуги обтюратора, оскільки герметизація забезпечується гнучкою пластинкою тільки в області перенісся. Результат – низька захисна ефективність.

Респіратор «Акація-П» являє собою напівмаску виготовлену також із двох шарів. Зсередини напівмаска покрита тонкою повітронепроникною плівкою, у якій кріпляться два клапани вдиху. У центрі напівмаски розташований клапан видиху. Респіратор, на відміну від інших, має регульоване оголів'я. Наявність плівки дозволяє видалити надлишкову вологу і тепло через клапан видиху без вилучення основного фільтруючого шару, що збільшує термін служби. Однак напівмаска має порівняно більше обмеження поля зору і мертвий простір, де накопичується CO₂. Смуга обтюратора напівмаски не дозволяє забезпечити високі захисні властивості.

Респіратор «росток» складається з фільтруючої напівмаски, носового затиску, оголів'я в вигляді гумового шнура. Виготовляється з матеріалу НФП, має порівняно велику фільтруючу поверхню за рахунок оригінальної конструкції, що забезпечує низький опір підвищену пилоємність і термін експлуатації. Має всі недоліки безклапанних респіраторів, недосконалу смугу обтюратора, що не дозволяє збільшити захисну ефективність респіратора.

Сімейство респіраторів «росток – ПК (ФК)» призначено для захисту органів дихання від аерозолів різних шкідливих речовин. Їх відмінними рисами є гумовотканинне оголів'я і клапан видиху.

Респіратори «РПА-ТД» складається з гумової напівмаски ПР-7 і двох (одного) змінних протиаерозольових фільтрів уміщених у фільтруючий патрон. На дні корпуса кожного з патронів є патрубок із сідловиною для розміщення клапана вдиху. Фланець патрубка служить для приєднання патрона до напівмаски. У респіраторі передбачений один клапан видиху, що розташований у запобіжній обоймі. До останнього кріпиться оголів'я. Фільтруючі елементи виготовляються у вигляді концентричних складок з фільтруючого матеріалу на основі полімерних волокон. Респіратор успішно застосовується при високих концентраціях пилу і фізичних навантажень. Він має порівняно високу пилоємність і рекомендується до використання при концентраціях пилу більше 500 мг/м³. Однак, гумова напівмаска не забезпечує достатньої рівномірності прилягання до обличчя по смугі обтюратора, що приводить до підвищеного підсмоктування забрудненого повітря в підмасочний простір. Крім того, гумова

напівмаска дратує шкіру обличчя, особливо при роботах в умовах підвищених температур, коли клапан видиху не забезпечує ефективного виносу вологи. Накопичення вологи в підмасочному просторі респіратора приводить до того, що вона попадає на фільтри і тим самим знижує їх термін служби. Частково вище викладена проблема вирішена в конструкції респіратора «Пульс-М», що схожий на респіратор РПА-ТД, але оснажений двома клапанами видиху. У свою чергу це приводить до ускладнення і подорожчання конструкції. Респіратори РПА-ТД і Пульс порівняно сильно обмежують поле зору і незручні при припасуванні оголів'я.

Параметри змінних фільтрів до респіраторів були встановлені ще в 50-х роках, виходячи з технічних характеристик фільтруючих матеріалів ФПП. До дійсного моменту для їх виготовлення використовуються нові матеріали типу ФП (ФПС, ФПАН, З-11, РФМ і інші), а також поліпропіленові (НФП, Елефлен) і металоволоконні матеріали (МВФЕ-1). Деякі з цих матеріалів мають малу механічну міцність, тому для виготовлення фільтрів, підкладки чи покривного шару застосовують додаткові шари з більш твердих матеріалів, таких, як марля, марля апретирована, термоскріплені матеріали з лавсанових і поліамідних волокон з різною поверхневою щільністю.

Властивості нових фільтруючих матеріалів значно відрізняються від властивостей матеріалу ФПП, а конструктивно фільтруючі елементи за останні 50 років практично не змінилися. Це привело до того, що в ряді випадків фільтруючі і ергономічні показники респіраторів погіршилися, при цьому неповно використовуються можливості нових фільтруючих матеріалів.

Респіратор «Клен-П» призначений для індивідуального захисту органів дихання від аерозольних частинок при концентрації їх у повітрі до 150 мг/м^3 . Представляє собою гумову напівмаску з двома патронами овальної форми, усередині яких розміщені фільтри. Конструкція клапанної системи, оголів'я, смуги обтюрації така ж, як і в респіраторів РПА-ТД. Має всі недоліки властивим гумовим напівмаскам. Овальна форма фільтруючого патрона приводить до злипання суміжних гофрів і до неефективного використання робочої поверхні фільтра.

Респіратор «Одисей» також складається з гумової напівмаски ПР-7, що має три отвори. У бічних – розташовані два клапани видиху. У центральному – розміщена фільтруюча коробка зі змінним гофрованим фільтром, до якої кріпитися оголів'я. До усіх вище перерахованих недоліків, що притаманні респіраторам РПА-ТД, необхідно віднести і такий, котрий зв'язаний з тим, що при роботі з частими нахилами голови, фільтруюча коробка респіатора упиратися в груди.

Таким чином, проаналізувавши всі конструкції вітчизняних респіраторів дійдемо висновку про необхідність:

- досліджувати властивості нових фільтруючих матеріалів та зіставити їхні технічні характеристики з вимогами стандартів до показників якості ЗІЗОД;
- розробити методи розрахунку нових респіраторів, а також запропонувати рекомендації з удосконалення конструкцій відомих ЗІЗОД, оскільки усі вони проектувалися, виходячи з властивостей фільтруючого матеріалу ФПП;

- досліджувати вплив кліматичних умов і запропонувати рекомендації з удосконалення існуючих конструкцій як одноразових респіраторів, так і багаторазового використання.

1.3 Дослідження впливу факторів виробничого середовища гірничих підприємств на захисні і ергономічні показники ЗІЗОД

Розробка вугільних пластів супроводжується дією ряду факторів, що значною мірою ускладнюють процес вуглевидобутку, знижують продуктивність праці, впливають на організм гірників і роботу засобів індивідуального захисту органів дихання. До числа ведучих шкідливих виробничих факторів входять пил, мікроклімат, підвищена вологість і т.д. [1,2]. Кліматичні умови гірничих виробок відрізняються від тих, що на поверхні – це і підвищена температура повітря, яка підвищується із зниженням глибини розробок на кожні 100 м, приблизно на 3°C., і складає в середньому, близько 27-30 °С, а на підвищених глибинах 1000-1400 м і більше – 35-40 °С при відносній вологості повітря 90 – 100 % та підвищеному атмосферному тискові, яких збільшуються на 9-10 мм. рт. ст на кожні 100 м глибини та для переважної більшості шахт, вищий, ніж на поверхні у середньому на 100 гПа. Встановлено досить високі існуючі рівні запиленості повітря, що практично перевищують ГДК вугільного пилу – 10 мг/м³, а часто й технічно досяжні рівні 50-150 мг/м³, встановлені для шахтного обладнання

Отже виникає потреба з'ясувати, як вище приведені параметри впливають на роботу засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), адже їх основні технічні показники: опір повітряному потоку і захисна ефективність визначаються виходячи зі стандартних умов ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\phi = 50\%$; $P = 101,1\text{ кПа}$).

Несприятливі умови навколишнього середовища і високий рівень фізичного навантаження можуть збільшити обтяжливий вплив респіраторів на людину. Тому визначення оптимальних і припустимих границь раціонального використання засобів захисту є однією з пріоритетних задач для розроблювачів ЗІЗОД.

Дамо оцінку впливу запиленості повітря робочої зони на ергономічні показники (опір диханню) і захисні властивості (коефіцієнт проникання). Попередньо відзначимо, що результати досліджень перепаду тиску на ЗІЗОД від часу запилення в літературі зустрічаються досить часто, оскільки за перепадом тиску устанавлюється термін служби респіраторів при тій чи іншій концентрації пилу. Разом з тим, комплексна оцінка впливу забивання ЗІЗОД пилом на опір дихання і захисну ефективності практично не освітлена.

З урахуванням цього, на базі Іспитової лабораторії технічної експертизи засобів колективного й індивідуального захисту органів дихання працюючих Національного гірського університету був розроблений універсальний стенд (рис. 1.4) для дослідження й іспитів респіраторів, що забезпечує готування і подачу свежеутвореного пилу, із заданим дисперсним складом [3].

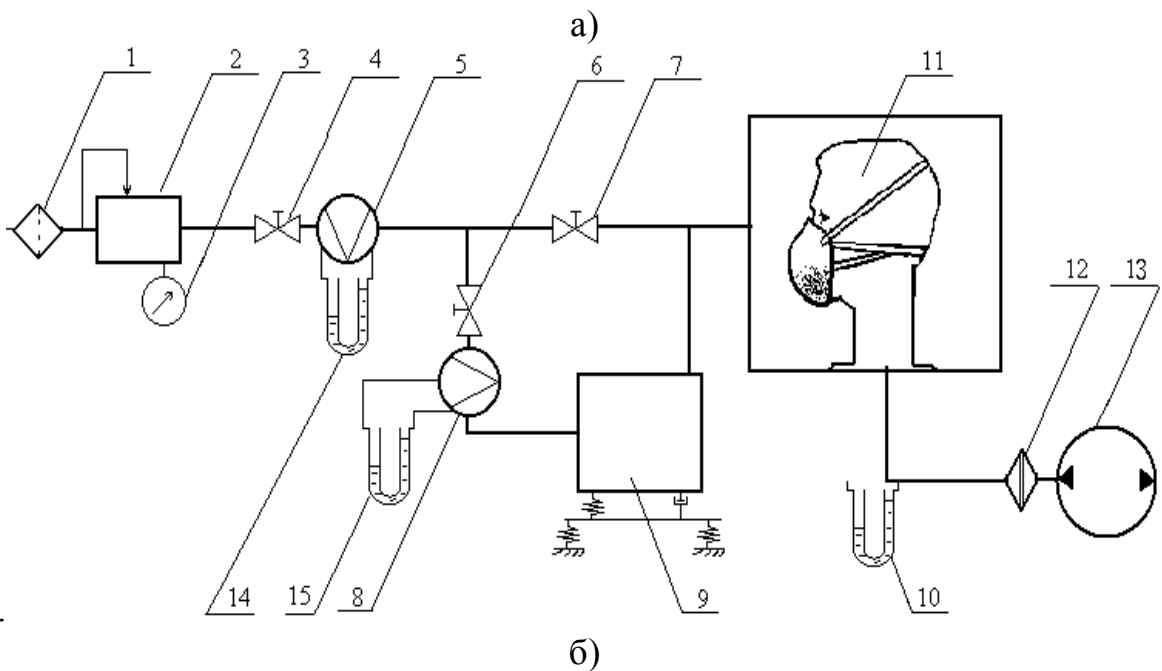
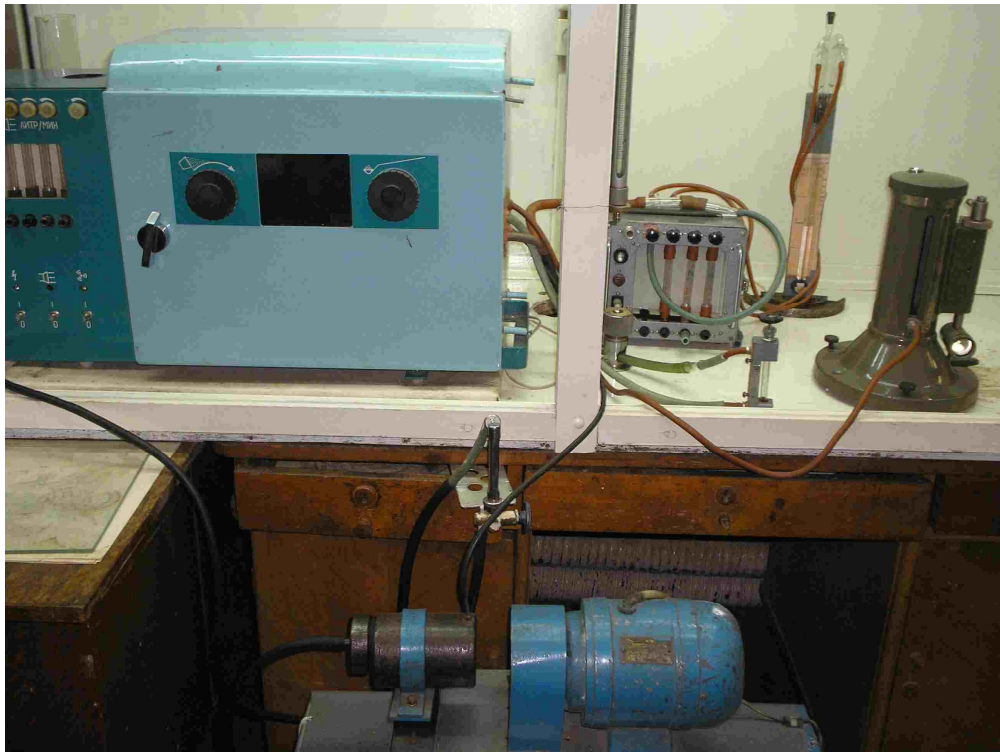


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд станда для дослідження ЗІЗОД на вугільному пилу (а) і його структурна схема (б): 1 – фільтр попереднього очищення; 2 – стабілізатор тиску; 3 – манометр; 4, 6, 7 – регулюючі вентиля; 5, 6 – діафрагми; 9 – генератор вугільного пилу; 10 – мікроманометр МКВ-250; 11 – іспитова камера з муляжем або респіратором; 12 – алонж із фільтром АФА; 13 – вакуум-насос; 14, 15 – рідинні манометри.

За допомогою станда можна оцінити не тільки перепад тиску на досліджуваному виробі, але й ефективність респіраторів на вугільному пилу (рис. 1.4 б).

Установка працює в такий спосіб. Повітря від компресора під тиском подається через фільтр попереднього очищення 1 на стабілізатор 2. Кількість повітря, регулюється вентилем 4 і контролюється рідинним манометром за перепадом тиску на відкаліброваній діафрагмі 5. Для утворення пилового аерозолу у вібраційний генератор пилу 9 подається від 2 до 10 л/хв чистого повітря в залежності від необхідної концентрації пилу. Регулювання витрати повітря здійснюється за допомогою вентиля 6 і діафрагми 8.

Генератор пилу являє собою сталеву склянку з впускним і випускним штуцерами, у який завантажуються попередньо роздроблені шматки вугілля загальною масою близько 100 г. У результаті вібрації камери відбувається інтенсивне самоздрібнювання цих шматків. Для прискорення здрібнювання передбачене завантаження в камеру генератора сталевих куль діаметром 10-15 мм. Частина чистого повітря подається в іспитову камеру 11 з розташованим у ній респіратором. Очищене повітря з підмасочного простору ЗІЗОД у кількості 30 л/хв подається через алонж із фільтром 12 за допомогою вакуум-насоса 13. Накопичення пилу на ЗІЗОД контролюється за ростом аеродинамічного опору, що визначається за показаннями компенсаційного мікроманометра 10, з урахуванням залежності

$$P=9,81(R_2-R_1) \text{ , Па,} \quad (1.4)$$

де R_1 – перепад тиску в іспитовій камері без респіратора, мм. вод. ст.; R_2 – обмірюване значення перепаду тиску із ЗІЗОД, мм. вод. ст.

Визначення захисної ефективності ЗІЗОД здійснимо виходячи з відношення маси пилу осілого на фільтрах АФА, до загальної маси пилу на респіраторі:

$$k = \frac{M_1 - M_{\phi 1}}{M_2 - M_{\phi 2}} \text{ ,} \quad (1.5)$$

де M_1 – маса запиляного фільтра АФА після респіратора, м; $M_{\phi 1}$ – маса чистого фільтра АФА, після респіратора, м; M_2 – маса попередньо запиленого фільтра АФА, м; $M_{\phi 2}$ – маса чистого фільтра АФА, м.

Методика дослідження полягає в наступному. Попередньо відбираємо чотири респіратори з приблизно однаковим початковим опором і відомим коефіцієнтом проникання по тест-аерозолу – масляний туман. Для патронних ЗІЗОД підбираємо тільки фільтруючі елементи (по вісім штук). Далі перевіряємо роботу установки, визначаємо можливі витіки, установлюємо необхідну витрату повітря, що подається в генератор пилу. Визначаємо власний опір системи без респіратора R_1 . Далі фіксуємо за допомогою відбору проб на фільтри АФА без респіратора вихідну концентрацію пилу при визначеному режимі подачі повітря в генератор. Методика визначення концентрації пилу описана в [23].

Припинивши подачу повітря в іспитову камеру, установлюємо ЗІЗОД, попередньо видаливши з муляжу осілий пил. Включаємо вакуумнасос для прокачування через випробуваний виріб повітря й одночасно подаємо пил в іспитову камеру, підтримуючи об'ємну витрату повітря 30 л/хв. За допомогою секундоміра починаємо облік часу. Через щопівгодини знімаємо показання з

компенсаційного манометра, потім припиняємо подачу пилоповітряної суміші в іспитову камеру, виключаємо вакуумнасос, змінюємо аналітичний фільтр на новий і продовжуємо процес запилення. У табл. 3 приведені середні значення перепаду тиску і коефіцієнта проникання на досліджуваних виробках.

Таблиця 1.3 – Значення основних параметрів ЗІЗОД у процесі запилення для різних респіраторів і фільтрів до них

ШБ-1 «Лепесток-200» (матеріал ФПП15-1,5)			Респіратор Ф-62 Ш (фільтри з ФПП 15–1,5)			РПА-ТД (фільтри з елефлена)		
Час запилення, хв	Перепад тиску, Па	Коефіцієнт проникання, %	Час запилення, хв	Перепад тиску, Па	Коефіцієнт проникання, %	Час запилення, хв	Перепад тиску, Па	Коефіцієнт проникання, %
0	28	-	0	28	-	0	18	-
30	31	0,0015	30	30	0,0003	30	22	0,024
60	35	0,0008	60	32	0,0002	60	28	0,009
90	39	0,0007	90	36	0,0002	90	34	0,008
120	45	0,0007	120	41	0,0001	120	39	0,007
«Росток» (матеріал елефлен)			Астра-2 (фільтри з елефлена)			РПА-ТД (фільтри з ФПП 15-15)		
Час запилення, хв	Перепад тиску, Па	Коефіцієнт проникання, %	Час запилення, хв	Перепад тиску, Па	Коефіцієнт проникання, %	Час запилення, хв	Перепад тиску, Па	Коефіцієнт проникання, %
0	20	-	0	38	-	0	32	-
30	23	0,006	30	42	0,011	30	38	0,0005
60	28	0,005	60	48	0,007	60	44	0,0004
90	32	0,004	90	52	0,007	90	51	0,0003
120	38	0,004	120	59	0,006	120	60	0,0001

Аналізуючи отримані результати, дійдемо висновку, що в процесі фільтрації забрудненого повітря захисна ефективність ЗІЗОД спочатку підвищується, оскільки збільшується ефективний діаметр волокон і поверхнева щільність за рахунок часточок осілої пилу. Однак, подальше запилення показало, що коефіцієнт проникання після досягнення визначеної величини практично не

змінюється. Це указує на те, що процес фільтрації відбувається у два етапи: перший, – коли осадження пилу йде безпосередньо на чисте волокно, а другий, коли осадження йде на утворений шар частинок. На другому етапі площа осадження частинок збільшується, тому необхідно набагато більше часу для зміни проникаючої здатності респіратора. Також необхідно відзначити, що з ростом осаду пилу на волокнах, змінюється і перепад тиску, що приводить до збільшення проскакування частинок по смузі обтюрації, в обхід фільтра.

Дослідимо вплив температури на опір дихання. Для цього скористаємося вище описаною установкою, у схему якої додамо пристрій для нагрівання повітря (рис. 1.5). Цей пристрій являє собою скляну колбу, обмотану електронагрівальною спіраллю, через яку пропускається струм, сила якого вибирається відповідно до необхідної температури нагрівання.

Методика виконання вимірів полягав у наступному. Попередньо визначаємо перепад тиску в іспитовій камері без респіратора. Далі після установки ЗІЗОД в іспитовій камері починаємо подавати в неї повітря. Запускаємо вакуумнасос і знімаємо показання з компенсаційного манометра, фіксуємо температуру в камері. Включаємо нагрівач. При підвищенні температури в камері визначаємо перепад тиску на ЗІЗОД за формулою (1.4) []. Результати приведені в табл. 1.4.

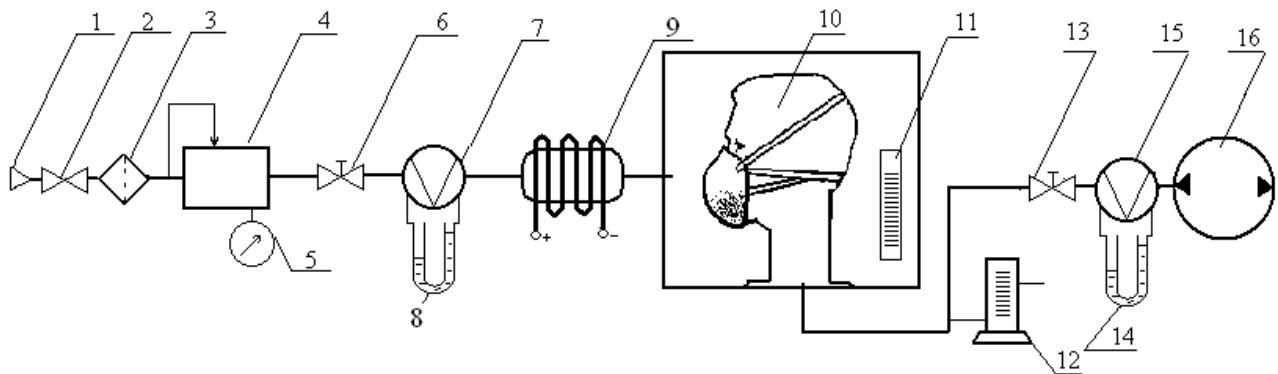


Рисунок 1.5 – Схема установки для визначення перепаду тиску на ЗІЗОД: 1 – вхід від компресора; 2, 6, 13 – вентилі; 3 – фільтр попереднього очищення; 4 – стабілізатор тиску; 5 – манометр; 7, 15 – діафрагми; 8, 14 – рідинні манометри; 9 – пристрій для нагрівання повітря; 10 – іспитова камера з муляжем; 11 – термометр; 12 – мікроманометр МКВ-250; 16 – вакуумнасос

В всіх експериментах лінійна швидкість повітряного потоку через фільтр була постійною, тому підвищення температури приводило до збільшення перепаду тиску на ЗІЗОД. Цього слід було очікувати, оскільки опір диханню пропорційний в'язкості газу, що залежить від температури. З табл. 4 видно, що між зміною перепаду тиску і температурою – прямо пропорційна залежність.

Таблиця 1.4 – Залежність перепаду тиску на ЗІЗОД від температури

Температура, °С	+16	+20	+24	+26	+28	+30	+32
ШБ-1 «Пелюсток-200»							
ΔР, Па	31,4±0,2	32,8±0,2	34,2±0,2	34,9±0,2	35,6±0,2	36,3±0,2	37±0,2
РПА-ТД із фільтрами з елфлену							
ΔР, Па	18,1±0,12	20,1±0,12	22,2±0,12	23,1±0,12	24,1±0,12	25,1±0,12	26,0±0,12

Зупинимося й на оцінці впливу температури на захисну ефективність ЗІЗОД. Для цього скористаємося методикою іспитів респіраторів, заснованою на тест-аерозолі – масляний туман (МТ), за допомогою якого можна забезпечити, за певних умов, монодисперсності крапель масла із середнім діаметром 0,3 мкм. Частинки з таким діаметром є найбільш проникаючими при швидкостях фільтрації в ЗІЗОД (1 – 10 см/с) [3]. Блок-схема установки для випробувань ЗІЗОД по МТ приведена на рис 1.6.

Установка працює в такий спосіб. Стиснене повітря подається на попередньо нагрітий (до 100 °С) генератор МТ, у якому утворюються часточки аерозолу. Далі аерозоль надходить у змішувальну камеру, де відбувається розведення його чистим повітрям до необхідної концентрації. Потім суміш попадає в камеру, де відбувається її нагрівання до необхідної температури. Підготовлений аерозоль направляється на виріб в іспитову камеру. За допомогою фотометра вимірюють концентрацію часток «до» і «після» ЗІЗОД. Коефіцієнт проникання (K) обчислюють за формулою (1.1).

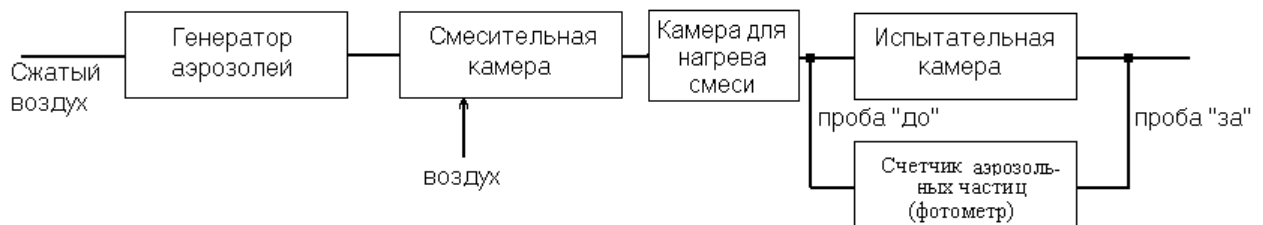


Рисунок 1.6 – Блок-схема установки для іспитів ЗІЗОД на тест-аерозолі

Для дослідження було взято по 10 штук респіраторів різного типу. Попередньо установку МТ підготовляють до іспитів: виходять на температурний режим генератора, прогрівають фотометр і подають на його стиснене повітря, що обдуває, коректують повітряні потоки для одержання необхідної концентрації МТ. Перед початком роботи визначаємо початкову концентрацію МТ в іспитовій камері без ЗІЗОД і перевіряємо дисперсність вихідного аерозолу. Установлюємо випробуваний зразок і подаємо МТ. За допомогою фотометра визначаємо концентрацію часточок після ЗІЗОД []. Далі починаємо підігрівати суміш і контролюючи зміну концентрації МТ після ЗІЗОД. Результати досліджень приведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Залежність коефіцієнта проникання від температури

Температура, °С	+16	+20	+24	+26	+28	+30	+32
ШБ-1 «Лепесток-200»							
<i>K</i> , %	0,23±0,005	0,25±0,005	0,31±0,005	0,33±0,005	0,34±0,005	0,35±0,005	0,35±0,05
РПА-ТД із фільтрами з елефлена							
<i>K</i> , %	1,32±0,2	1,54±0,2	1,86±0,2	1,94±0,2	2,01±0,2	2,09±0,2	2,11±0,2

Як бачимо з табл. 1.5 з ростом температури коефіцієнт проникання росте. Це погоджується з тим, що з ростом температури збільшується швидкість аерозольних часточок. Однак, можна припустити, знаючи природу залежності захисної ефективності і перепаду тиску, що при подальшому росту температури коефіцієнт проникання буде зменшуватися, оскільки зростає опір фільтруючих волокон.

Для дослідження впливу вологості повітря на рост опору респіраторів був поставлений експеримент. Схема установки яка дозволяє моделювати різну вологість повітря приведена на рис. 1.7. Було відібрано по десять штук респіраторів ШБ-1 «Лепесток-200» і по десять пар фільтрів до респіратора РПА-ТД із матеріалу "Елефлен". Перед початком досліджень їх попередньо підсушували.

Установка працює в такий спосіб. Під тиском повітря від компресора подається через фільтр попереднього очищення 3 на стабілізатор 4. Кількість цього повітря регулюється вентилем 2 і контролюється манометром на стабілізаторі, виходячи з перепаду тиску на відкаліброваній діафрагмі 12. Повітря необхідної вологості підготовляється за допомогою камери для підігріву повітря 5, камери з водою 7, що знаходиться на електричній пічці 15 та випарника 8. У результаті підігріву води утворюється пара, що підігрівається чи охолоджується у випарнику, щоб одержати задану температуру і вологість. При необхідності, частина чистого підігрітого повітря може подаватися, минаючи камеру з водою і випарник. Потім, вологе повітря надходить у камеру 9, де знаходиться психрометр. Вентиль 11 закритий. Через деякий час після стабілізації показань відкриваємо вентиль 11 і прикриваємо вентиль 10, перенаправляємо підготовлений потік повітря в іспитову камеру 13, де знаходиться респіратор. За допомогою мікроманометра 14 визначаємо перепад тиску. Надлишкова частина повітря пропускається через психрометр і викидається в атмосферу. Результати експерименту приведені в таблиці 1.6.

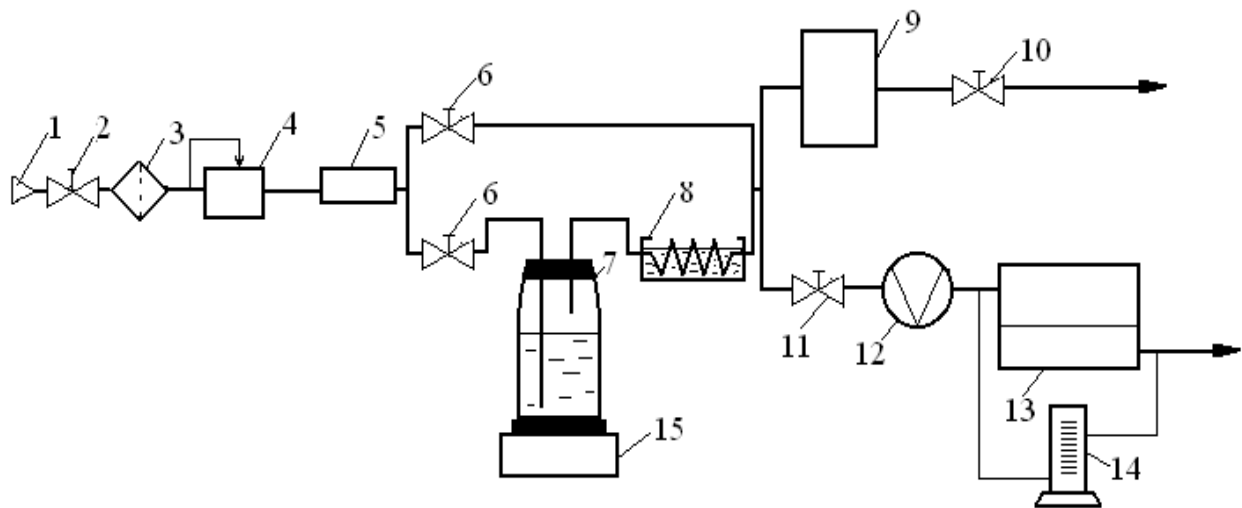


Рисунок 1.7 – Схема установки для визначення перепаду тиску на ЗІЗОД при різній вологості повітря: 1 – вхід від компресора; 2, 6, 10, 11 – вентилі; 3 – фільтр попереднього очищення; 4 – стабілізатор тиску; 5 – камера для підігріву повітря; 7 – камера з водою; 8 – випарник; 9 – камера для визначення температури і вологості повітря; 12 – діафрагма; 13 – іспитова камера; 14 – мікроманометр; 15 – електрична піч

Таблиця 1.6 – Результати іспитів ЗІЗОД при різній вологості

Віднос-на воло-гість повітря φ %	Значення перепаду тиску - P на респіраторах при різній температурі, Па									
	16 °C		20 °C		24 °C		26 °C		30 °C	
	Леп.	РПА	Леп.	РПА	Леп.	РПА	Леп.	РПА	Леп.	РПА
50	30,1±0,3	18,3±0,1	31,6±0,3	20,3±0,1	33,2±0,2	22,3±0,1	33,9±0,2	23,4±0,2	35,3±0,2	25,2±0,2
60	30,2±0,3	18,3±0,1	31,7±0,3	20,3±0,1	33,2±0,2	22,3±0,1	33,9±0,2	23,4±0,2	35,3±0,2	25,3±0,2
70	30,6±0,3	18,4±0,2	32,1±0,3	20,3±0,1	33,6±0,2	22,4±0,1	34,3±0,2	23,5±0,2	35,7±0,2	25,4±0,2
80	31,8±0,4	18,7±0,2	33,3±0,4	20,7±0,2	34,7±0,5	22,7±0,2	35,5±0,3	23,9±0,3	36,9±0,3	25,9±0,2
90	33,7±0,5	19,2±0,2	35,2±0,4	21,3±0,2	36,8±0,5	23,3±0,2	37,4±0,4	24,5±0,3	39,0±0,4	26,5±0,2
100	37,8±0,5	21,3±0,2	39,3±0,4	23,4±0,2	40,7±0,4	25,2±0,2	41,5±0,3	26,4±0,3	43,2±0,4	28,2±0,4

Проведені дослідження показують, що перепад тиску на ЗІЗОД під впливом зростаючої вологості починає рости. Механізм росту опору можна пояснити в такий спосіб. По-перше, при конденсації води з повітря, рідка фракція, розтікається по поверхні волокон, утворюючи плівку. Згодом вона збирається в краплі в місцях контакту схрещених волокон. Ці краплі поступово

перекривають пори фільтра, у результаті чого росте опір ЗІЗОД (рис. 1.8). По-друге, хоча поліпропіленовий фільтруючий матеріал вважається гідрофобним, усе-таки він накопичує вологу. При цьому волокна збільшуються в діаметрі, через що зростає перепад тиску на респіраторах. Цей висновок був зроблений на основі експерименту, суть якого полягала в тому, що фільтри були поміщені в спеціальну камеру, де підтримувалася 100 % вологість при температурі 18⁰С. Попередньо були обміряні перепади тиску на фільтрах та їхні маси. Через добу, знову визначали їх масу і перепад тиску. Результати зведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Накопичення води на фільтрах при 100 % вологості

Тип фільтра	Початкові показники		Через добу		Через дві доби	
	Маса, г	Перепад тиску при витраті повітря 15 л/хв., Па	Маса, г	Перепад тиску при витраті повітря 15 л/хв., Па	Маса, г	Перепад тиску при витраті повітря 15 л/хв., Па
Фільтри к РПА з елефлену	6,814	22,6	6,824	23,1	6,834	23,8
Фільтри РПА з ФПП	8,211	34,4	8,298	36,3	8,351	38,5



а)



б)

Рисунок 1.8 – Структура матеріалу елефлен під мікроскопом при 300-кратному збільшенні: а – перед початком іспитів; б – після іспитів при вологості 100 %

Розходження в питомому рості перепаду тиску на респіраторах «Лепесток» і РПА-ТД можна пояснити різницею в розташуванні волокон і тим, що в конструкції перших використовується апретирована марля, що швидко намокає.

1.4 Виробничі іспити засобів індивідуального захисту органів дихання

Іспити проводилися на шахті “Героїв космосу” ДХК “Павлоградвугілля” при проходці конвеєрного збірного штреку №19 пл. З₆, обрій 370 м, і шахті “Павлоградська” на ділянці №1 пл. З₅, обрій 265 м.

Для досліджень були узяті респіратори ШБ-1 «Пелюсток-200», респіратори РПА-ТД із фільтруючими елементами, виготовленими з матеріалів ФПП 15-1,5; ФПП 15-0,6 і елефлен, респіратор «Астра-2» з фільтруючими елементами з матеріалів ФПП 15-1,5 і елефлен.

Для того, щоб випробовувані фільтри знаходилися в однакових умовах, в один респіратор установлювалися фільтри з різних фільтруючих матеріалів. Попередньо визначалися: початковий опір фільтрів і маса. Після експлуатації протягом однієї робочої зміни в лабораторних умовах визначалися: опір запиленого фільтра і його маса з пилом.

Респіратори видавалися наступним категоріям трудящих: машиністу, помічнику машиніста і трьом гірником. Усього було випробовано більш 80 зразків фільтрів. Респіратори ШБ-1 «Лепесток» видавалися: гірничому майстру, ІТП, що у цей час прибували в гірничих виробках. Результати випробувань респіраторів приведені в табл. 1.8

Таблиця 1.8 – Результати випробувань ЗІЗОД у виробничих умовах

Показники, що визначаються							
	Лепес ток- 200	Росток	«Астра-2»		РПА-ТД-2		
			фільтр з ФПП 15-1,5	фільтр з елефле ну	фільтр з ФПП15-1,5	фільтр из ФПП 15-0,6	фільтр з елефлену
Маса фільтра; мг	11,213 ± 0,456	-	4,2 ± 0,2	3,5 ± 0,1	6,8 ± 0,32	8,7 ± 0,2	6,1 ± 0,4
Початковий перепад тиску, Па	31,5 ± 0,3	20 ± 1,1	37 ± 1,2	28 ± 1,2	36 ± 2,3	34 ± 2	19 ± 0,5
Пилоємність ЗІЗОД; мг	0,156 ± 0,021	0,315 ± 0,034	0,5 ± 0,02	0,8 ± 0,05	0,287 ± 0,042	0,715 ± 0,153	1,12 ± 0,124
Опір запиленого фільтра, Па	41,3 ± 0,8	33,6 ± 0,7	46 ± 2,9	36 ± 2,1	44 ± 3,5	42 ± 3,2	31 ± 2,1

Аналізуючи результати випробувань у виробничих умовах, дійдемо висновку, що ефективність захисту респіраторів швидко знижується внаслідок намокання фільтрів, збільшення опору диханню і підсмоктування нефільтрованого повітря по смузі обтюрації. Особливо швидко наростає опір при

високій запиленості і вологості у респіраторів «Лепесток» (рис. 1.9), час захисної дії яких іноді складає усього 15 – 20 хв. Трохи більший захисний термін показали респіратори «Росток» (рис. 1.10). Хоча їхній матеріал і не усмоктував вологу, однак через нерівномірність роботи поверхні напівмаски вони показали невисокий результат. Малим терміном служби характеризуються і фільтруючі елементи до респіраторів, що виготовлені з матеріалу ФПП 15-1,5 (рис. 1.11 - 1, 1.12 - 3), а також у фільтруючих елементів до респіраторів, виготовлених з матеріалу ФПП 15-1,5 (рис. 1.11 - 1, 1.12 - 3). Середня величина маси пилу, накопиченої на них, виявилася практично в три рази меншою, ніж в інших фільтруючих елементах. Це погоджується з тим, що й у конструкції респіратора «Лепесток» і у фільтрів із ФПП 15-1,5 використовується апретирована марля, котра при великій вологості рудникової атмосфери сильно розбухає і підпирає тим самим волокна фільтруючого матеріалу, що різко збільшує опір диханню. Крім того, у фільтрів марля виконує роль каркаса, а через її намокання відбувається утрата твердості, що приводить до змикання сусідніх складок, яке чітко видно на рис. 1.12. У результаті через фільтр неможливо дихати.

Виявлено також, що в результаті роботи в респіраторах з гумовими напівмасками, з видихуваного повітря рясно виділявся конденсат, що тільки частково виводився з під напівмаски. Судячи з величини накопиченої на таких фільтрах пилу, їхній опір при великій вологості рудникової атмосфери в шахтних умовах було практично в три рази більше, ніж опір інших фільтруючих елементів. Після сушіння фільтрів у лабораторних умовах твердість фільтрів із ФПП 15-1,5 на марлі не відновлюється. Цим пояснюється порівняно високий приріст величини їхнього опору при незначній масі накопиченого пилу.

У конструкції фільтрів із ФПП 15-0,6 до респіратора РПА-ТД використовуються як підкладка термоскріплені віскозні волокна з поверхневою щільністю 80 г/см^2 (рис. 1.10 - 2), чим і пояснюється порівняно більший їх початковий опір. Хоча така основа і є гідрофобною, все-таки у фільтрів із ФПП 15-0,6 робоча поверхня використовується не цілком, через змикання складок у нижній частині конструкції. Цим пояснюється і той факт, що маса накопиченого пилу на таких фільтрах істотно менше, ніж у фільтрів з елестена (рис. 1.10 -3). Однак, порівняно з фільтрами на марлі, їх пилоспоємність виявилася значно вищою. Це зв'язано з тим, що термоскріплені волокна не усмоктують вологу і фільтр не втрачає каркасності.

На рис. 1.13 приведена залежність приросту опору від маси пилу, накопиченої на респіраторах. Як видно з малюнка, фільтри з елестена при їх використанні в шахтних умовах характеризуються істотно меншим приростом опору на одиницю маси накопиченого пилу.

Таким чином, елементи, що фільтрують, та виготовлені з матеріалів на основі поліпропіленових волокон, мають низький опір, високу пилоспоємність при збереженні достатньої твердості конструкції й ефективності фільтрації.



Рисунок 1.9 – Респіратор ШБ-1 «Лепесток-200»



Рисунок 1.10 – Респіратор "Росток"

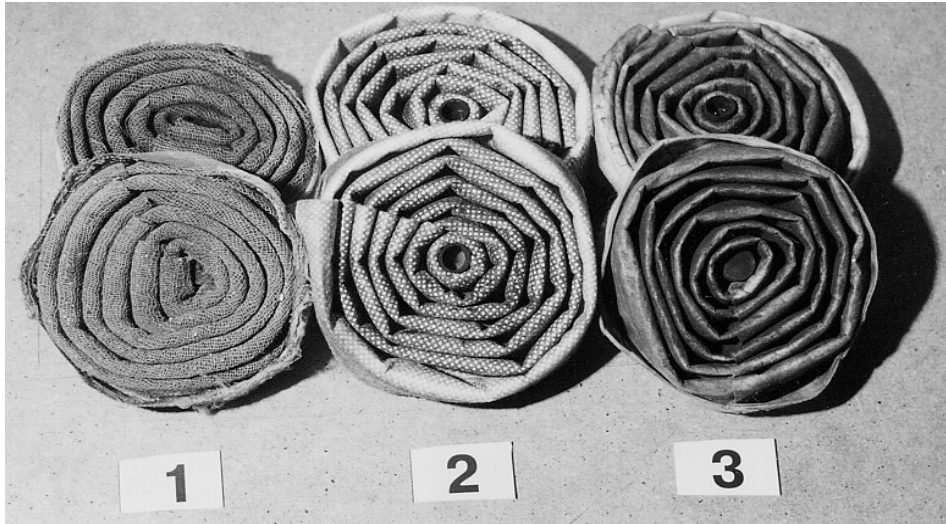


Рисунок 1.11 – Фільтри до респіратору РПА-ТД: 1 – фільтри, з ФПП 15-1,5; 2 – фільтр з ФПП 15-0,6; 3 – фільтри з матеріалу Елефлен



Рисунок 1.12 – Фільтри до респіратору Астра: 1 – з матеріалу елефлен; 2 – з ФПП 15-1,5 з капроною сіткою в основі; 3 – з ФПП 15-1,5 з основою – марля апретирована.

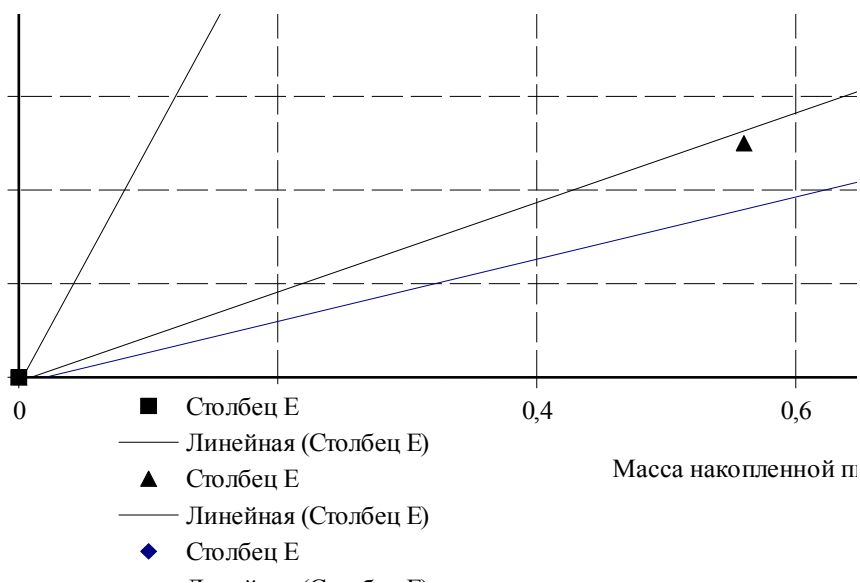


Рисунок 1.13 – Залежність приросту опору від маси накопиченого пилу

З матеріалів ФПП найбільш вдалим є фільтри, що виготовлені з ФПП 15-0,6 на спанбонді. У результаті проведених випробувань встановлено, що фільтри з ФПП на марлі мають найгірші показники, оскільки в умовах високої вологості в них губиться каркасність і швидко росте опір, тому в подальших дослідженнях вони не використовувалися.

1.5 Висновки

1. Кліматичні умови в підземних виробках характеризуються тим, що температура повітря в шахтних вибоях підвищується із зменшенням глибини розробок на кожні 100 м, приблизно на 3°C , і складає в середньому, близько $27-30^{\circ}\text{C}$, а на підвищених глибинах до $35-40^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості повітря 90 – 100 % та підвищеному атмосферному тиску, котрий для переважної більшості шахт вищий, ніж на поверхні у середньому - на 100 гПа. Характерні також досить високі рівні запиленості повітря, що практично перевищують ГДК вугільного пилу – 10 мг/м^3 , а часто й технічно досяжні рівні $50-150 \text{ мг/м}^3$, встановлені для шахтного обладнання. Ці параметри впливають на роботу засобів індивідуального захисту органів дихання, проте їх основні технічні показники: опір повітряному потоку і захисній ефективності визначаються виробниками, виходячи зі стандартних умов ($t = 20^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 50\%$; $P = 101,1 \text{ кПа}$).

2. В результаті проведених досліджень ЗІЗОД для визначених умов шахт, що частково відтворювалися в лабораторних умовах на тестовому аерозолі встановлено, що:

- у процесі фільтрації забрудненого повітря захисна ефективність ЗІЗОД підвищується за рахунок збільшення ефективного діаметру волокон та поверхневої щільності фільтрувального матеріалу внаслідок налипання частинок забруднювача, тобто осілого пилу;

- підвищення температури приводить до збільшення перепаду тиску на ЗІЗОД, за рахунок збільшення в'язкості газу(повітря), приблизно на 10%. Із зростанням температури коефіцієнт проникання частинок через фільтр збільшувався, однак, при подальшому росту температури коефіцієнт проникання дещо зменшувався, оскільки зростає опір фільтруючих волокон, що не суперечить природі залежності захисної ефективності і перепаду тиску;

- з ростом температури коефіцієнт проникання збільшується, однак, очікується, виходячи з природи залежності захисної ефективності і перепаду тиску, що при подальшому росту температури коефіцієнт проникання буде зменшуватися, оскільки зростає опір фільтруючих волокон;

- перепад тиску на ЗІЗОД під впливом зростаючої вологості починає збільшуватися через утворення на волокнах фільтруючих матеріалів крапель рідини, що приводять до збільшення ефективного діаметра волокна;

- фільтруючі елементи, що виготовлені з матеріалів на основі поліпропіленових волокон, мають низький опір, високу пилоємність при

збереженні достатньої жорсткості (твердості) конструкції й ефективності фільтрації.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НОВИХ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ГІРНИЧОДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

2.1 Аналіз основних показників фільтруючих матеріалів, що застосовуються при виготовленні ЗІЗОД для умов вугільних шахт

Серед заходів щодо очищення рудникового повітря вугільних шахт від шкідливих аерозолів, по запобіганню чи зменшенню впливу на людину небезпечних і шкідливих факторів важливе місце приділяється удосконалюванню засобів індивідуального і колективного захисту. Одним з найбільш надійних і ефективних методів очищення рудникового повітря залишається фільтрація з використанням волокнистих фільтруючих матеріалів.

Очевидно, ступінь захисту органів дихання від надходження до них шкідливих речовин залежить від показників якості фільтруючих матеріалів з яких виготовлені ЗІЗОД. У першу чергу вона визначається технічними характеристиками фільтруючих матеріалів, такими як: поверхнева густина, г/м^2 ; діаметр волокон, мкм; товщина фільтруючого шару, мкм; опір потоку повітря R , Па; коефіцієнт проникання K , % (перевіряється на тест-аерозолі, звичайно на масляному тумані); розривне навантаження P , Н.

Найбільше поширення для виготовлення фільтрів до респіраторів у гірничодобувній промисловості, включаючи одноразові (“Лепесток”, “Кама” і ін.) одержали фільтруючі матеріали типу ФПП (фільтри Петрянова з перхлорвінілової смоли). Вони являють собою шари ультратонких волокон, нанесених на марлеву чи підкладку підкладку з термоскрепленого чи клееного полотна. Фільтруючий шар з матеріалів ФПП є гидрофобним, стійким до концентрованих кислот, лугів, спиртів, граничних вуглеводів, розчиняється в ароматичних і хлористих вуглецевих сполуках. Може застосовуватися при температурах від мінус 73 до плюс 333 $^{\circ}\text{C}$ і відносної вологості 98 % [2]. Крім того, ці матеріали вибухобезпечні, не мають властивості самозайматися, однак можуть горіти в полум'ї інших речовин з виділенням шкідливих з'єднань. Тому спалювання значної кількості матеріалу проводять у спеціально відведених місцях. Матеріали ФПП мають високий і стабільний електричний заряд, що істотно поліпшує фільтруючі властивості матеріалу. У табл. 2.1 приведені технічні характеристики найбільш розповсюджених матеріалів типу ФПП.

До недоліків матеріалів типу ФПП необхідно віднести: відносно високу вартість виготовлення, малу механічну міцність, що приводить до обов'язкового застосування при виготовленні фільтруючих елементів додаткових шарів для збільшення твердості. Крім того, при утилізації і виготовленні виділяються шкідливі речовини.

Сьогодні в Україні з'явилися власні технології з виготовлення аналогів ФПП, до яких відносяться поліпропіленові фільтруючі матеріали “НФП” (НПП “Фільтр”, Горлівка) “Елефлен” (НПП “Стандарт”, Дніпропетровськ)». Зовні вони являють собою двошарову полотнину з термоскріплених ультратонких

поліпропіленових волокон, виготовлених методом аеродинамічного формування з розплаву поліпропілену.

Таблиця 2.1 – Основні показники фільтруючих матеріалів ФПП

Марка фільтрувального матеріала	Середній діаметр волокна, мкм	Розривне навантаження, Н	Поверхнева густина, г/м ²	Опір при швидкості 1 см/с, мм. вод. ст.	Коефіцієнт проскоку <i>K</i> по МТ при швидкості 1 см/с	Примітки
ФПП 15-0,6	1,5	0,5	13...19	0,5...0,7	0,5	Фільтри до Ф-62Ш, РПА та ін.
ФПП 15-0,8			15...25	0,7...0,9	0,3	Для У-2К, Р-2
ФПП 15-1,0			15...25	0,9...1,2	0,08	
ФПП 15-1,5			25...30	1,2...1,5	0,01	Фільтри АФА, «Лепесток-200»
ФПМ 1506			12...18	0,5...0,7	0,5	Фільтри до Ф-62Ш, РПА та ін.
ФПМ 1508		0,6	18...25	0,7...0,9	0,3	
ФПМ 7006		4	3,0	30...40	0,5...0,7	0,5
ФПМ 1515	1,5	2,0	30...40	1,4...1,6	0,01	Лепесток-200 та ін.

До основних фізичних показників поліпропіленових матеріалів відносять діаметр волокон, товщину фільтруючого шару, поверхневу щільність. Від їх значень залежить опір матеріалів і захисна ефективність фільтрів чи респіраторів. Примітно, що два останніх показники є об'єктом обов'язкового технологічного контролю, оскільки в наступному за їх величинами проводиться налагодження і регулювання верстатів з виготовлення ЗІЗОД.

Загальний вигляд упакованих волокон поліпропіленового матеріалу наведений на рис. 2.1. Мікрофотографії зразків отримані за допомогою оптичного мікроскопа при збільшенні у 500 крат.

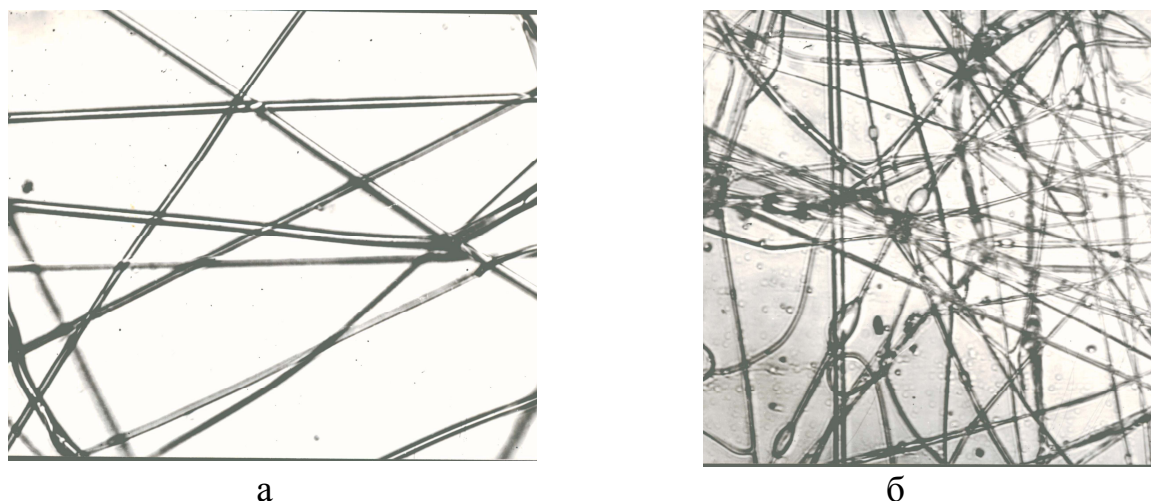


Рисунок 2.1 – Мікрофотографії зразків волокон: а – поліпропіленовий фільтруючий матеріал; б – фільтруючий матеріал ФП

Як видно, волокна поліпропіленових матеріалів мають циліндричну форму, на відміну від матеріалів ФПП, для яких характерна овальна і гантелевидна форми. Пори між волокнами перекриваються наступними шарами матеріалу, у той час як у матеріалів ФПП волокна розташовані більш щільно одне до одного.

Діаметр волокон вимірювався за допомогою мікрометричної насадки до окуляра мікроскопа. При збільшенні (500 крат) ціна розподілу складала 0,25 мкм. Результати вимірів діаметрів волокон для обраних зразків фільтруючих матеріалів приведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати вимірів діаметрів волокон фільтруючих матеріалів

Діаметр волокон, мкм	Кількість волокон певного діаметра, шт.	
	Поліпропіленовий матеріал «Елефлен»	ФПП 15 – 1,5
1,0	2	16
2,0	6	22
3,0	16	13
4,0	20	11
5,0	15	5
6,0	6	3
7,0	3	2

Як видно з табл. 2.2, у поліпропіленових матеріалах переважають волокна з діаметром 4 мкм. Середній же діаметр волокон матеріалів ФПП 15 – 1,5 склав 2 мкм.

Поверхнева щільність поліпропіленових матеріалів (маса одиниці листової поверхні) визначалася за результатами зважування зразків фільтруючого матеріалу у формі квадрата з розмірами $(100+0,5) \times (100+0,5)$ мм на лабораторних вагах типу ВЛО – 200 за ДСТ 24104-88 і розраховувалася відповідно до формули

$$m = \frac{10000 M}{S}, \quad (2.1)$$

де m – поверхнева щільність фільтруючого матеріалу, г/м^2 ; M – маса зразка, г ; S – площа зразка, см^2 .

Таблиця 2.3 – Поверхнева щільність поліпропіленових фільтруючих матеріалів

Фільтруючий матеріал	Щільність матеріалу, г/м^2	Діаметр волокон, мкм	Товщина матеріалу, мкм
НФП	$45 \pm 1,6$	1...8	4
Елефлен 5Р	$45 \pm 2,1$	1...7	4
Елефлен 5Ф	$50 \pm 1,8$	1...7	5
Елефлен 6Л	$60 \pm 2,5$	1...6	5
Мелтблоун (Чехія)	$25 \pm 2,2$	1...5	3
МПФ (Росія)	$46 \pm 1,6$	1...5	4

Аналізуючи дані, наведені в табл. 2.3, бачимо, що виробники виготовляють поліпропіленові ФМ із різною поверхневою щільністю, що коливається в межах, приблизно, від 43 до 62 г/м^2 .

Маючи фізичні показники мікроструктури поліпропіленових матеріалів, можна досліджувати їхні основні показники якості, що необхідні для встановлення можливості виготовлення з них ЗІЗОД з різним класом захисту.

2.2 Результати досліджень показників нових фільтруючих матеріалів

Оцінку параметрів нових фільтруючих матеріалів важко проводити безпосередньо в умовах гірничо-видобувних підприємств, де варто випробувати вже готові респіратори з такими матеріалами, тому шахтні умови імітувалися на різних лабораторних установках, включаючи дослідження на вугільному пилу. Необхідність випробовування у таких умовах обумовлено тим, що нові полімерні фільтруючі матеріали створювалися без урахування можливих умов застосування, зокрема умов вугільних шахт, що не дозволяє закласти їх у конструкції нових шахтних ЗІЗОД, без дослідження їхніх властивостей у типових умовах вугільних шахт.

2.2.1 Обґрунтування методів і методик досліджень

Як уже відзначалося, до основних показників якості ФМ відносять захисну ефективність, опір повітряному потоку, а також пилоємність, параметр, що визначає термін служби фільтра.

Визначення захисної ефективності для умов вугільних шахт. Основною вимогою до фільтруючого матеріала є забезпечення очищення повітря від шкідливих речовин до вмісту, що не вищий ГДК протягом усього часу експлуатації. Тому захисна ефективність оцінюється в першу чергу проникністю фільтруючих матеріалів, тобто здатністю затримувати чи утримувати шкідливі речовини.

Методика визначення коефіцієнта проникності фільтруючих матеріалів по тест-аерозолі, у якості якого використовувався масляний туман (МТ) розроблена відповідно до ДСТ 12.4.156-75 (додаток А). Коефіцієнт проникання K (%) по МТ визначався на спеціально створеній установці, загальний вигляд якої наведений на рис. 2.2 і розраховувався за формулою (1.1). Обсяг експериментів визначався для імовірності 0,95. Кількість випробуваних зразків установлювалося відповідно до рекомендацій ДСТУ і НД на фільтруючі матеріали і складала від 4 до 11 шт. Конкретна кількість уточнювалася в процесі досліджень, виходячи з погрішності вимірів, що задавалася. Результати визначення показників захисних властивостей фільтруючих матеріалів піддавалися статистичній обробці з дотриманням вимог ДСТ 12.4.119-82. При дослідженнях основна увага приділялася варіюванню температури і вологості повітря. Випробування фільтруючих матеріалів проводили при температурі повітряного середовища в шахтах 26 ± 5 °С і вологості 95-99%.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд установки по визначенню захисної ефективності фільтруючих матеріалів і фільтрів

Визначення опору фільтруючих матеріалів в умовах підвищених температур. Методика визначення опору фільтруючих матеріалів розроблена у відповідність із ДСТ 12.4 (додаток Б). Опір постійному потоку повітря визначалося за перепадом тиску на фільтрі на установці, що складається з джерела стиснутого повітря, витратоміра (діафрагми), затиску, у якому

установлюється випробуваний виріб, регулювального вентиля і мікроманометра. Загальний вид установки з визначення опору представлений на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд установки для виміру опору фільтруючих матеріалів і фільтрів

Підготовка до досліджень опору полягала в тому, що з кожного фільтруючого матеріалу вирізували по 10 зразків розміром 100x100 мм. Перед проведенням досліджень визначали власний опір R_1 затиску при заданій об'ємній витраті повітря. Потім вимірявся опір випробуваного зразка шляхом фіксації різниці між тиском у цьому пристрої й атмосферним при заданій витраті повітря R_2 . Далі розраховувався перепад тиску на фільтруючому матеріалі за формулою (1.4). Результати досліджень опору фільтруючих матеріалів, відповідно до методики, також піддавалися статичній обробці з дотриманням вимог ДСТ 12.4.119-82.

Визначення пилоємності фільтруючих матеріалів на вугільному пилу. Показник пилоємності фільтрів і фільтруючих матеріалів дозволяє дати технічну оцінку довговічності виробу по очищенню запиленого повітря в умовах високих концентрацій, типових для робочих місць у вугільних шахтах.

У технічних умовах і в загальних вимогах, сформульованих у ДСТ 12.4.041-2001, не передбачене визначення пилоємності. Однак, існує показник “Граничний опір ЗІЗОД повітряному потоку” при витраті повітря 30 дм³/хв, що складає $R_{max} = 100$ Па. Ця величина перепаду тиску на респіраторі обґрунтована тим, що при подальшій експлуатації виробу в організмі людини відбуваються серйозні фізіологічні зміни, що приводять до швидкої стомлюваності людини. Збільшення опору вдиху протипилових респіраторів обумовлено відкладенням пилу на робочій поверхні фільтра. Таким чином, за пилоємністю фільтруючих елементів можна судити про час захисної дії респіратора від початку його експлуатації до

моменту досягнення його опору граничної величини. Визначається пилоємність за формулою

$$\Pi = \frac{m_3 - m_0}{S}, \quad (2.2)$$

де Π – пилоємність фільтруючого матеріалу, г/м²; m_3 – маса запиленого фільтруючого матеріалу, м; m_0 – маса чистого фільтруючого матеріалу, м; S – площа фільтруючого матеріалу, м.

Визначення пилоємності фільтруючих матеріалів і фільтрів з них проводили на установці, наведеній на рис. 1.4, у якій замінили іспитову камеру на спеціальний гвинтовий затиск Зовнішній вигляд установки для дослідження пилоємності фільтрів і фільтруючих матеріалів приведений на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд установки для дослідження пилоємності фільтрів і фільтруючих матеріалів (згаданий спеціальний затиск – в центрі на передньому плані).

2.2.2 Дослідження перепаду тиску на поліпропіленових фільтруючих матеріалах

Теорія розрахунку опору фільтруючих матеріалів розроблена досить детально. У її основу покладена модель фільтруючого матеріалу, що представляє собою систему окремих волокон, аеродинамічний опір яких дорівнює сумі опорів усіх волокон в обсязі фільтра, тобто в цьому випадку розглядається обтікання потоком повітря окремих волокон, покладених у шар, на основі рівнянь Навье-

Стокса [32]. Поліпропіленовий же фільтр відрізняється істотною полідисперсністю волокон, що вимагає перевірки положень теорії стосовно до таких матеріалів.

Коротко розглянемо основні положення теорії опору фільтруючих матеріалів, виконаємо теоретичні розрахунки для нових матеріалів і зіставимо їх з експериментальними даними.

Відповідно до теорії лобового аеродинамічного опору волокон сила опору на одиницю довжини ізольованого циліндра при в'язкому обтіканні визначається за формулою [32, 49]

$$F = \frac{4 \pi \nu \mu}{(2 - \ln \text{Re})} ,$$

а для волокна в системі рівнобіжних циліндрів розташованих у шаховому порядку [50]:

$$F_1 = \frac{4 \pi \nu \mu}{-\lambda - 0,5 \ln \beta} ,$$

де ν – лінійна швидкість плинину газу, м/с; μ – динамічна в'язкість газу, Н·с/м².

Оскільки для більшості пористих фільтрів характерний режим в'язкої течії газу ($\text{Re} < 1$), коли виконується основний лінійний закон фільтрації Дарси, тобто величина Δp пропорційна швидкості газу і товщині шару матеріалу [32], то перепад тиску на фільтрі, що складається з рівнобіжних циліндричних волокон, розташованих перпендикулярно потоку, буде дорівнювати [50]

$$\Delta p = F_1 L = \frac{4 \nu \mu \beta H}{a^2 (-\lambda - 0,5 \ln \beta)} , \quad (2.3)$$

де $L = \beta H / (a^2 \pi)$ – загальна довжина волокон у фільтрі з одиничною площею, 1/м.

Формула (2.3) була експериментально підтверджена на модельних фільтрах, що представляють собою упорядковані системи рівнобіжних волокон, виготовлених з різних фільтруючих матеріалів [50]. При цьому поправочний коефіцієнт для правильного шахового розташування циліндрів (волокон) дорівнює 0,5 або 0,75, а для правильного квадратного розташування циліндрів – 1,31. Для реальних фільтрів, що характеризуються безладним розташуванням волокон, найбільш близькою за властивостями і структурою є віялова модель. Вона являє собою шари рівнобіжних волокон, осі яких у сусідніх шарах розташовані під довільними кутами, відмінними від 0. Опір Δp_ϕ віялової моделі фільтруючого матеріалу можна підрахувати, використовуючи вираз (2.7), при цьому експериментально встановлений поправочний коефіцієнт буде дорівнювати $\lambda = 0,52$. Аналогічне значення було отримано і для реальних фільтруючих матеріалів ФП із гантелевидними волокнами, але в розрахунках використовувався еквівалентний радіус циліндричних волокон.

З огляду на те, що структура реальних фільтруючих матеріалів не завжди досить однорідна, їх величина Δp_ϕ буде менше, ніж у віялової моделі з тими ж

технічними параметрами матеріалів: щільністю упакування, радіуса волокон і товщиною. Тому у вираз (2.7) був уведений коефіцієнт неоднорідності, що являє собою відношення опорів віялової і реальної моделей [24]

$$\xi = \frac{\Delta p_{\epsilon}}{\Delta p_{\phi}} \quad (2.4)$$

Для визначення коефіцієнта неоднорідності, опір реального фільтруючого матеріалу встановлюється експериментально. Таким же способом можна визначити коефіцієнт неоднорідності між реальною структурою фільтруючого матеріалу і моделлю з паралельно розташованими циліндричним волокнами.

Відповідно до запропонованого Девиеном класифікації при описі умов обтікання газами різних тіл у поліпропіленових фільтруючих матеріалів виникає режим течії газу з ковзанням ($10^{-3} < Kn$ – число Кнудсена $< 0,25$, де $Kn = \tau/a$, $\tau = 6,53 \cdot 10^{-6}$ – середня довжина вільного пробігу газових молекул, a – характеристичний розмір обтічного тіла).

На підставі узагальнення ряду теоретичних і експериментальних досліджень опір віялової моделі волокнистих фільтрів в умовах течії газу з ковзанням можна визначити з виразу, запропонованого Глушковим [51]:

$$\Delta p_{\epsilon} = \frac{4\nu\mu\beta H(1+\xi a^{-1})}{a^2[-0,75-0,5\ln \beta\gamma + \beta\gamma - 0,25\beta^2\gamma^2 + \xi a^{-1}([-0,5-0,5\ln \beta\gamma + 0,5\beta^2\gamma^2)]}$$

де γ – структурний коефіцієнт (для віялової моделі $\gamma = 2/\pi$); ξ – коефіцієнт ковзання газу.

З огляду на те, що в реальних фільтруючих матеріалів невисока щільність упакування, членами $\gamma\beta$ і $\gamma^2\beta^2$, що входять у цей вираз, можна знехтувати, тоді при $Kn \ll 1$, шляхом розкладання в ряд по ξa^{-1} опір можна визначити за формулою [51]

$$\Delta p_{\epsilon} = \frac{4\nu\mu\beta H}{a^2(-\lambda - 0,5\ln \beta + 1,15 Kn)} \quad (2.5)$$

Однак, для фільтруючих матеріалів з поліпропіленових волокон безпосереднє застосування відомих формул не дає правильних значень опору. У цьому ми переконалися при порівнянні експериментальних даних (див. рис. 2.5) гідродинамічного опору поліпропіленового матеріалу Елефлен (крапки на графіку), отриманих при різних швидкостях фільтрації, з теоретичними розрахованими за формулою (2.5) (пряма лінія). Як бачимо, при теоретичному розрахунку отримані занижені значення опору. При цьому в розрахунках опору задавався середній радіус волокон як математичне сподівання, оскільки відомо, що радіуси волокон у поліпропіленових матеріалах розподіляються по нормальному закону імовірності [52].

Рисунок 2.5 – Залежність опору волокнистих матеріалів від швидкості повітряного потоку (суцільна лінія відповідає теоретичним розрахункам)

Виявлене розходження теоретичних і експериментальних даних пояснюється тим, що вся теорія розрахунку опору розроблялася для одного діаметра волокон матеріалу, а розглянуті фільтруючі матеріали мають практично волокна різного діаметра. Тому виникає задача урахування цієї особливості або теоретично, або експериментально.

У деяких роботах пропонувалися вирази для розрахунку опору волокнистих матеріалів з урахуванням полідисперсності волокон. Однак отримані формули надзвичайно громіздкі і на практиці їх важко застосовувати для оперативної оцінки властивостей фільтруючих матеріалів. Проте, у роботі [53] на підставі найпростішої моделі полідисперсного фільтра, що являє собою ряд рівнобіжних циліндрів з радіусами r_1 і r_2 , розташованих перпендикулярно потоку, було показано, що в першому наближенні систему рівнобіжних волокон різного радіуса можна розрахувати за середнім радіусом. У той же час, при визначенні ступеня неоднорідності полідисперсного фільтруючого матеріалу, необхідно врахувати для віялової моделі має щільність упакування $\beta/1+\sigma$, де σ – дисперсія волокон. Таким чином, для розрахунку опору поліпропіленових фільтруючих матеріалів можна застосувати формулу (2.5), попередньо визначивши середній радіус волокон, їх дисперсію і поправочний коефіцієнт

Виникає також задача одночасного визначення середнього чи еквівалентного радіуса волокон і згаданого вище поправочного коефіцієнта λ .

Якщо привести рівняння (2.5) до виду

$$m/\Delta p = A \ln \frac{\beta}{1+\sigma} + B$$

де $m = 4\nu\mu\beta H$; $A = -0,5a^2$; $B = -a^2(\lambda - 1,15 Kn)$, то можна одержати значення радіуса і коефіцієнта за відносно простими залежностями з використанням експериментальних даних про опір фільтруючого матеріалу і щільність упакування волокон (оцінюється за масою зразків визначеного розміру на аналітичних вагах).

У результаті шукані параметри обчислюємо за формулами

$$a = \sqrt{2A} \quad , \quad \lambda = \frac{B}{2A} + 1,15 Kn \quad .$$

Визначення опору фільтруючих матеріалів проводилося відповідно до описаного вище методики. Досліджено по десять зразків поліпропіленових матеріалів (НФП, Елефлен, Мелтблоун) різної щільності упакування β у діапазоні від 0,04 до 0,07 площею 50 см². Для кожного зразка виміри проводилися 5...10 раз. За отриманими експериментальними значеннями будувалася залежність $\Delta p(\ln\beta)$ (наведена на рис. 2.6.) який, як бачимо, близька до лінійної.

Рисунок 2.6 – Залежність $m/\Delta p$ від щільності упакування для поліпропіленових матеріалів

Коефіцієнти рівняння регресії цієї прямої знаходилися методом найменших квадратів. Отримані значення дозволили визначити гідродинамічний радіус a і значення поправочного коефіцієнта для поліпропіленових матеріалів. Погрішність розрахованих значень з довірчою імовірністю 0,95 не перевищує 4%. Це свідчить про досить високу вірогідність проведених досліджень. Результати вимірів середніх радіусів волокон і поправочних коефіцієнтів наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Експериментальні значення середнього радіуса і поправочного коефіцієнта

Фільтруючий матеріал	Діаметри волокон, мкм	Середній радіус волокон, ^a мкм		Поправочний коефіцієнт, λ
		розрахую	експеримен.	
Елефлен 5	1...8	2,0	2,3	1,12
Елефлен 7С	1...5	1,12	1,13	1,11
НФП 5	1...8	2,0	2,2	1,11
Мелтблоун	1...6	1,5	1,45	1,07

Відмінність розрахункового середнього радіуса від експериментально встановленого середнього радіуса волокон у матеріалах Елефлен 5 і НФП можна пояснити тим, що фактично в шарі міститься 80-85 % волокон діаметром 1...5 мкм і 15-20% волокон діаметром 6...7 мкм [55], а при визначенні середнього радіуса ці співвідношення не враховуються.

Після підстановки поправочного коефіцієнта ($\lambda = 1,1$) з урахуванням полідисперсності волокон реальних фільтруючих матеріалів їх опір визначимо з виразу

$$\Delta p_{\phi} = \frac{4\nu\mu\beta H}{a^2(-1,1 - 0,5 \ln \frac{\beta}{1+\sigma} + 1,15 Kn)} \quad (2.6)$$

На нижченаведених рис. 2.7 і 2.8 зіставлені експериментальні залежності (крапки) опору поліпропіленових фільтруючих матеріалів від швидкості фільтрації і від щільності упакування волокон з теоретичними, отриманими за виразом (2.6). Максимальне розходження теоретичних і експериментальних результатів складає не більш 6 %, що указує на досить високу достовірність теоретичних розрахунків.

При виборі оптимальних параметрів фільтруючих матеріалів, що будуть задовольняти різним вимогам, особливий інтерес представляє залежність опору поліпропіленових матеріалів від щільності упакування їх волокон. Знання цієї залежності дозволить, по-перше, підібрати таку щільність упакування, що забезпечувала б найбільшу ефективність фільтрації при мінімальному опорі; по-друге, перейти від коефіцієнта захоплення частинок пилу ізольованим волокном до коефіцієнта захоплення фільтром в цілому, по-третє, оптимізувати технологічний процес виготовлення фільтрів за фактором щільності, оскільки налагодження верстатів відбувається виходячи і з потрібної щільності матеріалів.

Рисунок 2.7 – Залежність опору від швидкості повітряного потоку

Рисунок 2.8 – Залежність опору від щільності упакування для фільтруючого матеріалу Елефлен

Отже, у результаті теоретичних і експериментальних досліджень визначений взаємозв'язок між середнім радіусом і опором поліпропіленових матеріалів і встановлений поправочний коефіцієнт для його розрахунку.

2.2.3 Дослідження пилоємності фільтруючих матеріалів на вугільному пилу

До тепер детально розроблена теорія розрахунку ефективності уловлювання різних аерозолів і опору фільтруючих матеріалів [24, 25, 32, 56 - 59, 64]. Однак у нашому випадку інтерес представляє визначення їх пилоємності вугільного пилу.

Практика експлуатації фільтрів показала, що накопичення на волокнах і між ними твердих аерозольних частинок, навіть при постійній запиленості і швидкості потоку повітря, викликає істотні зміни його фільтруючих властивостей – зниження коефіцієнта проскакування і ріст опору.

При тривалій фільтрації аерозолів чи високій концентрації частинок цей процес приводить до утворення на поверхні фільтруючого матеріалу суцільного шару пилу, властивості якого починають відігравати основну роль при експлуатації фільтрів (рис. 2.9).

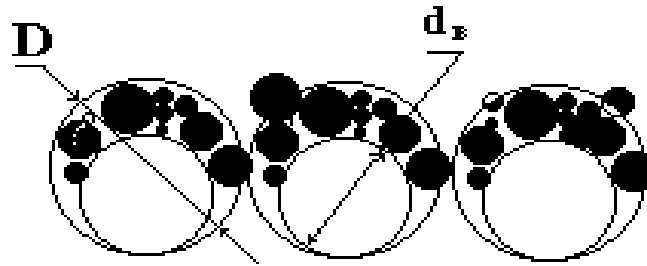


Рисунок 2.9 – Схема утворення суцільного шару пилу між сусідніми волокнами: D – діаметр волокна з пилом; d – діаметр волокна

Виконаємо теоретичний аналіз процесу накопичення пилу на фільтрі.

Допустимо, що малому збільшенню пилоємності відповідає мале збільшення опору, тобто

$$d(\Delta p) \approx d\Pi \quad \text{чи} \quad d(\Delta p) = f\left(\frac{f_\Sigma}{f_0}\right)d\Pi, \quad (2.7)$$

де Δp – опір фільтруючого матеріалу повітряному потоку, Па; а коефіцієнт $f()$ є лінійною функцією відношення площі перетину, зайнятої волокнами з пилом, до загальної площі чистого фільтруючого матеріалу.

$$F\left(\frac{F_\Sigma}{F_0}\right) = k_n \nu \frac{F_\Sigma}{F_0}, \quad (2.8)$$

де F_Σ – сумарна поверхня волокон з пилом, м^2 ; F_0 – загальна поверхня чистого фільтруючого матеріалу, м^2 ; ν – кінематична в'язкість, $\text{м}^2/\text{с}$; k_n – коефіцієнт пропорційності, що залежить від швидкості фільтрації, $\text{м}/\text{с}$.

Для спрощення розрахунків допустимо, що волокно з накопиченим пилом являє собою деяку циліндричну поверхню з діаметром перетину D (рис. 2.9), тоді

$$F_\Sigma = DL, \quad (2.9)$$

де D – діаметр волокна з пилом, м ; L – сумарна довжина волокон, м .

Слід зазначити, що перетин запиленого волокна скоріше представляє еліпс, ніж коло. Однак, як показано в роботі [69], для порівняння двох моделей була обчислена середня безрозмірна величина, що характеризує силу, що діє на одиницю довжини запиленого волокна, котра у першому випадку була

представлена як коло, а в другому – як еліпс. Обидві моделі дають дуже близькі результати до експериментальних. Зважаючи на те, що використання моделі еліпсоїдних циліндрів для оцінок не зовсім зручно, тому що треба визначити чи задати величину малої осі, а, крім того, розрахункові формули виходять дуже громіздкими, то перетин запиленого волокна доцільно апроксимувати кругом.

Масу частинок, що осіли на волокна з одиничною лобовою поверхнею, визначимо за формулою

$$\Pi = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) L \rho_n \phi \quad (2.10)$$

З рівнянь (2.9) і (2.10) одержимо залежність сумарної поверхні волокон і пилу від маси частинок, що осіли на волокнах:

$$F_{\Sigma} = \frac{F_0}{\pi} \sqrt{F_B^2 + \frac{4 \Pi F_B}{d \rho_n \phi F_0}} \quad (2.11)$$

Підставляючи F_{Σ} у рівняння (2.7), одержимо:

$$d(\Delta p) = \left(\frac{k_n v}{\pi} \sqrt{F_B^2 + \frac{4 \Pi F_B}{d \rho_n \phi F_0}} \right) d\Pi \quad (2.12)$$

Після інтегрування рівняння (2.12), одержимо залежність опору від пилоємності:

$$\Delta p = \frac{k_n v d \rho_n \phi F_0}{6\pi F_B} \left(F_B^2 + \frac{4 \Pi F_B}{d \rho_n \phi F_0} \right)^{3/2} + C_0 \quad (2.13)$$

Для визначення постійної інтегрування C_0 скористаємося початковою умовою, $\Delta p = \Delta p_0$. При $\Pi = 0$ з цієї умови знаходимо

$$C_0 = \Delta p_0 - \frac{k_n v d \rho_n \phi F_0 F_B^2}{6\pi}$$

Тоді рівняння (2.13) приймає остаточний вигляд:

$$\Delta p = \Delta p_0 + \frac{k_n v \rho_n \phi F_0^2}{6\pi^2 L} \left[\left(F_B^2 + \frac{4 \Pi F_B}{d \rho_n \phi F_0} \right)^{3/2} - F_B^3 \right] \quad (2.14)$$

На рис. 2.10 приведені порівняльні залежності експериментальних і теоретичних значень опору від пилоємності для поліпропіленових матеріалів. Дослідні дані отримані відповідно до методики, наведеної в розділі 2.2.1, при постійній швидкості фільтрації 0,01 м/с.

Рисунок 2.10 – Порівняння експериментальних (крапки) і теоретичних (суцільні лінії) значень пилоємності матеріалів Елефлен і Мелтблоун

Видно, що залежність опору від пилоємності добре описується рівнянням (2.14) при підборі визначеного коефіцієнта k_n . Максимальне відносне розходження теоретичних і експериментальних результатів не перевищило 8 %.

Відзначимо, що визначення залежності $k_n = k(v)$ здійснювалося дослідним шляхом. Була проведена серія експериментів з визначення опору при запиленні з різною швидкістю повітряного потоку, у межах 0,001...0,02 м/с. На рис. 2.11 приведені криві залежності опору від пилоємності для різних швидкостей повітряного потоку.

Шляхом обробки експериментальних даних було підібране значення коефіцієнта k_n при відповідній швидкості фільтрації:

$$k_n = k_1 v \quad (2.15)$$

Після визначення числового значення коефіцієнта було отримане рівняння для обчислення залежності $k_n = k_I(v)$ відповідно до фільтруючого матеріалам Елефлен і НФП.

$$k_n = 1,3 \cdot 10^{-4} v$$

За такою ж методикою був визначений поправочний коефіцієнт k_I і для фільтруючого матеріалу Мелтблоун, що визначений як $k_I = 1,5 \cdot 10^{-4}$.

Рисунок 2.11 – Криві залежності опору від пилоємності, отримані при різних швидкостях повітряного потоку

Тепер проаналізуємо можливі шляхи збільшення пилоємності фільтруючого матеріалу.

Отже, аналіз виразу (2.14) показує, що пилоємність і опір фільтруючих матеріалів залежать від сумарної поверхні волокон і осілого на волокні пилу. На рис. 2.12 наведена залежність пилоємності від сумарної поверхні волокон. Як бачимо, пилоємність зі збільшенням сумарної поверхні волокон зменшується, оскільки збільшується початковий опір і зменшуються розміри пір між волокнами, що сприяє їх швидкому забиванню частинками, отже, і швидкому росту опору запиленого фільтра. Для підвищення пилоємності необхідно зменшувати щільність упакування волокон або збільшувати діаметр волокон, а це веде до різкого погіршення ефективності очищення. Отже треба підтримувати оптимальне співвідношення указаних параметрів.

Рисунок 2.12 – Залежність пилоємності від сумарної поверхні волокон

Таким чином, запропонована математична модель адекватно описує процеси накопичення пилу при швидкостях фільтрації, що мають місце у фільтрах респіраторів.

2.2.4 Дослідження захисних властивостей нових фільтруючих матеріалів на масляному тумані

Оскільки захисна ефективність будь-яких фільтруючих матеріалів стандартно оцінюється на тест-аерозолі, нами проведено уточнення проникності фільтруючих шарів на масляному тумані.

Попередньо коротко проаналізуємо теорію проникності фільтруючих матеріалів. Відомо, що ефективність фільтрації будь-яких фільтруючих шарів визначається їх структурою (діаметром волокон, щільністю упакування, товщиною фільтруючого шару), властивостями аерозольних частинок і режимом течії повітря, а також характеризується проникністю

Якщо розмір частинок перевершує відстань між волокнами, то перші просто застряють на поверхні фільтруючого матеріалу. У протилежному випадку частинки проникають у фільтруючий шар, і їхня затримка носить імовірнісний характер, а проникність експоненціальна залежить від товщини матеріалу

$$K = \exp(-\alpha H) , \quad (2.16)$$

де α – коефіцієнт фільтрації, м^{-1} .

Найбільший інтерес представляє обчислення коефіцієнта фільтрації. Складність полягає в тому, що ця величина залежить від багатьох параметрів (розміру частинок, швидкості руху повітря, що фільтрується, та характеристик самого фільтруючого шару й ін.), а також визначається конкретним механізмом уловлювання частинок.

Теорія фільтрації розглядає мінімум п'ять різних механізмів захоплення частинок волокнами: відсівання, дифузійний, інерційний, зачеплення й електростатичний [2]. Величину дії кожного з них оцінюють, виходячи з коефіцієнта захоплення η , що дорівнює відношенню площі перетину потоку, що набігає на волокно, з якого уловлюються частинки, до площі проекції самого волокна (рис. 2.13) [25]:

$$\eta = \frac{y}{a} = \frac{\psi_{ep}}{v_0 a} , \quad (2.17)$$

де a – відстань від центральної лінії струму до траєкторії частинок у потоці газу, що в результаті дії одного з механізмів уловлювання торкнуться поверхні волокна; ψ_{ep} – значення функції струму для граничної лінії струму, при русі по якій частинка ще захоплюється волокном.

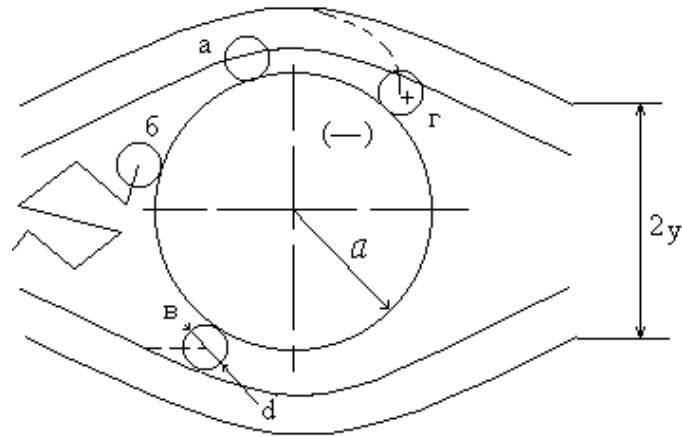


Рисунок 2.13 – Схема осадження аерозольних частинок на окреме циліндричне волокно: а – ефект торкання; б – дифузійний; у – інерційний; м – електростатичний

Перший механізм – відсівання – очевидний: усі частинки розміром більше відстані між волокнами затримуються незалежно від швидкості фільтрації. А на дифузійний механізм навпаки сильно впливає швидкість фільтрації, а також розмір частинок [3] (рис. 1):

$$\eta_D \approx \left(\frac{1}{v_0 a} \right)^{1/2}$$

Величина ефекту зачеплення в основному, як і механізму відсівання залежить від розмірів аерозольних частинок

$$\eta_R \approx r$$

Коефіцієнт захоплення, обумовлений інерційним механізмом пропорційний квадрату радіуса частинки і швидкості руху

$$\eta_I \approx r^2 v$$

П'ятий механізм – електростатичний, обумовлений електростатичними силами притягання між волокнами та аерозольними частинками. На ефективність уловлювання частинок впливає величина заряду волокна, частинки, а також величини їх діаметрів і швидкість фільтрації.

Сумарний коефіцієнт захоплення частинок, обумовлений усіма механізмами, являє собою складну суперпозицію, яку можна виразити у вигляді суми складових і деяких виправлень, що враховують їх взаємозв'язок (спільну дію деяких механізмів захоплення) [2]:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_D + \eta_R + \eta_{DR} + \eta_I + \eta_{IR} + \eta_{эл} , \quad (2.18)$$

де η_D – коефіцієнт захоплення, обумовлений дифузійним механізмом уловлювання; η_R – коефіцієнт захоплення, обумовлений зачепленням; η_I – коефіцієнт захоплення, обумовлений інерційним механізмом уловлювання; η_{DR} – коефіцієнт захоплення, обумовлений спільною дією дифузії і зачеплення; η_{IR} – коефіцієнт захоплення, обумовлений спільною дією інерції і зачеплення; $\eta_{эл}$ – коефіцієнт захоплення, обумовлений електростатичною взаємодією між частками і волокном.

Він зв'язаний з коефіцієнтом фільтрації k наступним співвідношенням

$$\alpha = \frac{2 \beta \eta_{\Sigma}}{\pi a} , \quad (2.19)$$

Таким чином, обумовлені різними механізмами коефіцієнти захоплення і результуючий коефіцієнт фільтрації є складними і різнохарактерними функціями розмірів, маси, діелектричних властивостей аерозольних частинок, діаметрів волокон і щільності упакування, а також в'язкості і швидкості середовища, що фільтрується, причому в різних областях цих параметрів внесок конкретних механізмів захоплення різний. Наприклад, при малій швидкості повітряного потоку основний внесок у захоплення частинок волокнами забезпечує дифузійний механізм. З ростом швидкості, ця роль переходить спочатку до зачеплення, практично не залежного від його механізму, а потім – до інерційного механізму [2].

Більш докладно зупинимося на електростатичному осадженні частинок, оскільки наявність зарядів на волокнах фільтруючих матеріалів набагато підвищує ефективність фільтрації, що підтверджено результатами багаторазових практичних досліджень. Приміром, нами було встановлено, що проникність поліпропіленових зразків з електростатичним зарядом при малих швидкостях фільтрації (до 0,06 м/с) на порядок нижче, ніж таких же зразків, але без заряду. Однак, збільшення швидкості частинок приводить до вирівнювання коефіцієнтів проникання (рис. 2.14).

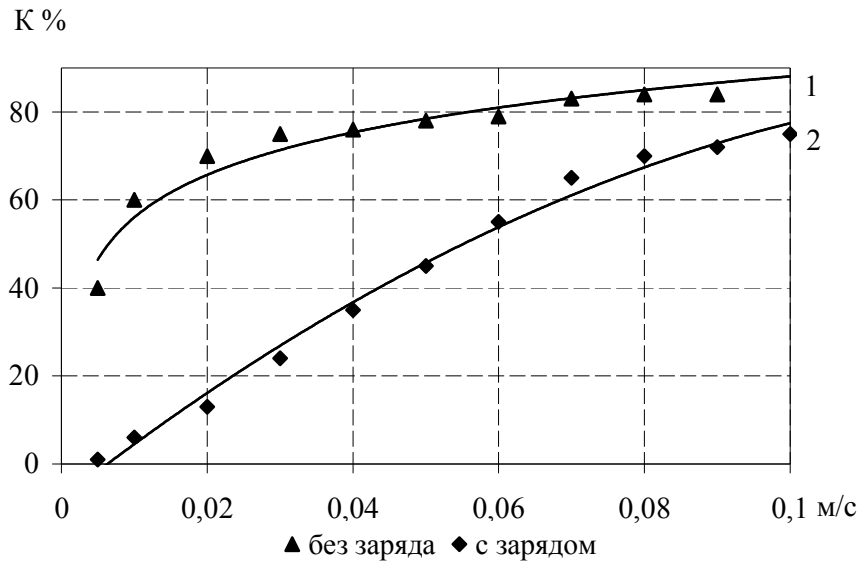


Рисунок 2.14 – Залежність коефіцієнта проникання по тест-аерозолію «масляний туман» від швидкості фільтрації для матеріалу Елефлен: 1 – незаряджений фільтруючий матеріал; 2 – заряджений фільтруючий матеріал ($E = 0,05$ В/м)

З огляду на те, що витрата повітря в респіраторі складає 30 – 90 л/хв, а площа фільтруючих елементів 500 – 1000 см², тоді максимальна швидкість повітряного потоку через ЗІЗОД не перевищить 0,04 м/с. Отже, при визначенні коефіцієнта фільтрації поліпропіленових матеріалів можна знехтувати дифузійним і інерційним механізмами уловлювання частинок, оскільки їх сумарна дія при наявності зарядів на волокнах, складає менш 10 % від сумарного коефіцієнта захоплення аерозольних частинок.

Теоретичний аналіз впливу електростатичних зарядів на захисні властивості мало вивчений. Найбільше фундаментально це питання розглянуто Г.Л. Натансоном [4]. Він, зневажаючи функцією струму, за умови, що електростатичні сили набагато більше інерційних, аналітично розрахував коефіцієнти захоплення для ізольованого волокна, коли $r \approx a$

$$\eta_{\text{эл}} = \frac{2 \varepsilon_k - 1}{3 \varepsilon_k + 2} \frac{\pi^2 q^2 R r^2}{v_0 \mu}, \quad (2.20)$$

і коли $r/a \gg 1$

$$\eta_{\text{эл}} = \left(\frac{(\varepsilon_k - 1)}{(\varepsilon_k + 2)} \frac{\pi^2 q^2 R r^2}{v_0 \mu} \right)^{1/3}, \quad (2.21)$$

де R – радіус часточки; r – відстань від частинки до волокна; q – об'ємна щільність заряду волокна; ε_k – діелектрична постійна частинки.

У роботі [5] було проведено порівняння між теоретичним розрахунком коефіцієнта захоплення, обумовленого електростатичним осадженням, і

експериментальними дослідженнями закономірності осадження аерозольних частинок на прикладі матеріалів ФПП із зарядженими волокнами. Автори відзначили, що хоча теоретичні дані, (розраховані за формулами (2.20), (2.21)) отримані без урахування сумарного поля зарядів усіх волокон, досить близькі до експериментального.

Напівемпіричний вираз для оцінки процесу осадження аерозольних частинок на волокна матеріалів з накладеним зовнішнім однорідним електричним полем напруженістю E_0 запропонував *G. Zebel* [6]

$$\eta_{эл} = k_0^{-1} \left(\frac{(\varepsilon_k - 1)(\varepsilon_2 - 1)}{(\varepsilon_k + 2)(\varepsilon_2 + 1)} \frac{2 E_0^2 R^2}{3 \mu \nu_0 a} \right), \quad (2.22)$$

де ε_2 – діелектрична постійна матеріали волокон; E – поверхнева щільність зарядів на волокні.

Для обліку впливу близько розташованих волокон при оцінці ефективності уловлювання необхідно знайти гідродинамічний параметр, котрий для поліпропіленових матеріалів розраховується за формулою [7]

$$k_0 = -0,5 \ln \beta - \lambda$$

Для перевірки можливості застосування вище приведених виразів з розрахунку коефіцієнта захоплення, обумовленого наявністю електричних зарядів на поліпропіленових матеріалах, були проведені дослідження, що показали, наскільки величина заряду впливає на проникність фільтруючого шару. Визначення поверхневої щільності заряду проводили на спеціальній установці «Статика» (рис. 2.15) з вимірюванням поверхневого напруження поля на зразках матеріалу

$$E_0 = \varepsilon_2 U_3 \beta / H, \text{ В/м}, \quad (2.23)$$

де U_3 – поверхнева напруга фільтруючого шару.

Установка «Статика» складається з двох вузлів: вимірювальної камери, що дозволяє вимірити ефективну напругу на поверхні електрету до 1000 В та блоку індикації. Принцип дії заснований на використанні як нуль-індикатор електронно-променевого вобулятора, з відображенням компенсаційної напруги на цифровому вольтметрі.

Зразки матеріалу (розміром 100x100 мм) вирізували з різних кінців рулонів поліпропіленового фільтруючого матеріалу. Потім їх укладали у вимірювальну камеру установки і за допомогою рукоятки «Потенціал» на блоці індикації домагалися стискування кривої заряду по вертикалі на індикаторі в центрі екрана. При цьому на цифровому вольтметрі з'являється величина поверхневої напруги.

Потім зразки з уже відомою щільністю заряду випробовували на проникність тест-аерозоллю масляний туман. Установка подана на (рис. 1.6). Коефіцієнт проникання визначався за формулою (1.1). Детальна методика

проведення досліджень приведена в розділі 2.1. Результати експериментів представлені на рис. 2.16. Для порівняння на графік наносилися криві розраховані за формулами (2.20) і (2.22).



Рисунок 2.15 – Загальний вид установки «Статика»

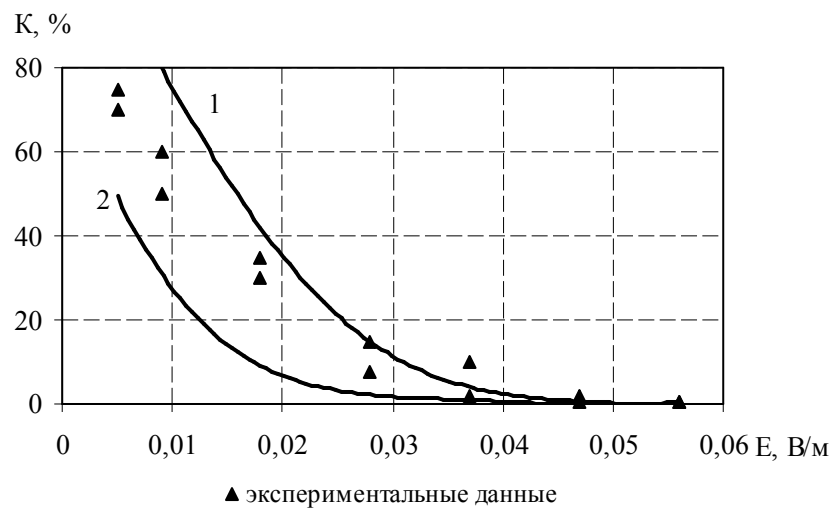


Рисунок 2.16 – Криві залежності експериментальних і теоретичних даних проникності фільтруючого поліпропіленового шару від величини поверхневого електростатичного заряду його волокон

Аналізуючи результати, бачимо, що найбільший збіг з експериментальними даними (з погрішністю 18 – 20 %) має крива, побудована за формулою (2.20). Якщо врахувати зневажені інерційний і дифузійний механізми уловлювання, (їхня спільна дія складає близько 10 % від сумарного коефіцієнта захоплення), то погрішність стане мінімальною. Швидше за все, вона обумовлена зневагою впливу сусідніх волокон.

Таким чином, у результаті експериментальних досліджень було встановлено, що при швидкості фільтрації до 0,04 м/с переважним механізмом захоплення аерозольних частинок для поліпропіленових матеріалів є електростатичний, а дифузійний і інерційний складає не більше 10 % від сумарного коефіцієнта захоплення. Для визначення величини останнього можна використовувати, формулу запропоновану *G. Zebel* [37]. Однак, для більшої точності розрахунків необхідно враховувати вплив сусідніх волокон на величину заряду наведеного на частинку.

2.2.5 Перевірка впливу атмосферного тиску на властивості фільтруючих матеріалів

Оцінка впливу барометричного тиску атмосферного повітря на основні показники ЗІЗОД важлива для умов гірничодобувних підприємств, оскільки зі збільшенням глибини шахти атмосферний тиск зростає, приблизно, на 12-14 гПа або 9 – 10 мм. рт. ст. на кожні 100 м. З огляду на те, що сьогодні середня глибина шахт складає 800 – 1000 м, необхідно оцінити наскільки зміниться опір фільтруючих матеріалів, а отже і їхня проникність у таких підземних виробках.

Опір фільтруючих матеріалів у залежності від тиску потоку газу можна розрахувати за формулою

$$\Delta p = Av \left(1 + \frac{B}{P}\right)^{-1}$$

де A і B – постійні величини для заданого фільтруючого матеріалу

$$A = \frac{4\mu H\beta}{a^2(-0,5 \ln \beta - \lambda)} ;$$

$$B = \left(\frac{2}{\sigma} - 1\right) 1,09 \lambda_0 P_0 a^{-1} ,$$

де σ – коефіцієнт обміну кількості руху; λ_0 – середня довжина вільного пробігу молекул газу, що розраховується при нормальному атмосферному тиску P_0 і температурі $t = 20$ °C.

Перепади тиску на фільтрі від зміни барометричного тиску досліджувався нами для матеріалі Елефлен зі щільністю упакування 0,25 і порівнювалися з аналогічними показниками для інших матеріалів. Результати наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5. – Залежність опору фільтруючого матеріалу від зміни атмосферного тиску при швидкості фільтрації 1 см/с

Атмосферний тиск	Сопротивление фильтрующего материала		
	Елефлен	ФПП 15 – 1,5	Мелтблоун
750 мм. рт. ст	3,01	15,10	5,0
800 мм. рт. ст	3,05	15,23	5,06
850 мм. рт. ст	3,08	15,35	5,09
900 мм. рт. ст	3,11	15,49	5,13

Результати розрахунку показують, що відносний приріст опору на кожні 50 мм. рт. ст. складає не більш 2 %, що є несуттєвим при визначенні перепаду тиску.

2.5 Висновки

1. Дослідження найбільш важливих параметрів фільтровальних матеріалів показали:

- у поліпропіленових матеріалах переважають волокна з діаметром 4 мкм, середній же діаметр волокон матеріалів ФПП 15 – 1,5 склав 2 мкм;

- виробники виготовляють поліпропіленові ФМ із різною поверхневою щільністю, що коливається в межах, приблизно, від 43 до 62 г/м².

2. При проведенні досліджень властивостей нових фільтруючих матеріалів з поліпропіленових волокон на вугільному пилу, з уточненням на стандартизованому масляному тумані, отримані наступні результати:

- встановлено, що значення гідродинамічного опору, отримані експериментально, дещо вищі розрахованих за відомими формулами, виходячи з середнього радіусу волокон, а розходження пояснюється тим, що розглянуті фільтруючі матеріали на практиці мають волокна різного діаметра: 80-85 % – діаметром 1...5 мкм і 15-20% – діаметром 6...7 мкм;

- запропоновано враховувати полідисперсність волокон у теоретичних формулах з середнім радіусом волокон, шляхом уведення поправочного коефіцієнту, обчисленого з урахуванням дисперсії радіусів при нормальному законі розподілу імовірності розмірів волокон, що дозволило отримати уточнені залежності опору поліпропіленових матеріалів від швидкості фільтрації та щільності упакування їх волокон;

- виявлено, що пилоємність і опір фільтруючих матеріалів залежать від сумарної поверхні волокон і осілого на волокні пилу, при цьому, відповідно до отриманої математичної моделі, зі збільшенням сумарної поверхні волокон пилоємність зменшується, оскільки збільшується початковий опір і зменшуються розміри пір між волокнами, що сприяє швидкому забиванню волокон частинками, отже, і швидкому росту опору запиленого фільтра, отже для підвищення

пилоємності необхідно зменшувати щільність упакування волокон або збільшувати діаметр волокон, до оптимального співвідношення цих параметрів за критерієм потрібного коефіцієнту захисту від певного виду забруднювача (пилу).

3. Проаналізовані п'ять основних механізмів захоплення частинок волокнами: відсівання, дифузійний, інерційний, зачеплення й електростатичний, величина дії кожного з яких оцінювалася, виходячи з частинним коефіцієнтом захоплення, що дорівнює відношенню площі перетину потоку, з якого уловлюються частинки, до площі проекції самого волокна, а сумарний коефіцієнт захоплення частинок, обумовлений усіма механізмами, являє собою складну суперпозицію частинних коефіцієнтів і виправлень, що враховують спільну дію деяких механізмів захоплення

4. У результаті експериментальних досліджень захоплення аерозольних частинок для поліпропіленових матеріалів встановлено, що при характерній швидкості фільтрації до 0,04 м/с переважним механізмом захоплення є електростатичний, для більшої точності визначення дії якого необхідно враховувати вплив сусідніх волокон на величину накопиченого на частинці заряду. Дифузійний і інерційний механізми обумовлюють не більше 10 % від сумарного коефіцієнта захоплення. Отже, при визначенні коефіцієнта фільтрації поліпропіленових матеріалів можна знехтувати їх дією.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ НА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ФІЛЬТРІВ І РЕСПІРАТОРІВ

3.1 Вплив товщини фільтруючого шару, діаметра волокон і щільності упакування на основні показники фільтруючих елементів

Дослідження впливу товщини фільтруючого шару, діаметра волокон і щільності упакування на основні показники фільтруючих елементів будемо розглядати в контексті проблеми мінімізації габаритів фільтруючих елементів до респіраторів, що сьогодні вимагає практичного рішення, оскільки малі габарити – це і зручність в експлуатації (невелика маса, збільшення польової зору і т.д.) і економія дорогого фільтруючого матеріалу.

Очевидно, що зменшення габаритів не повинне знизити захисну ефективність респіраторів, яка залежить від коефіцієнта проникання аерозольних часток K і перепаду тиску на фільтруючому елементі Δp відповідно до відомої формули [27]

$$\alpha = -v \lg K / \Delta p, \quad (3.1)$$

де v – лінійна швидкість повітряного потоку, м/с.

Чим менше перепад тиску, тим краще ефективність фільтрації. Його можна знизити за рахунок збільшення в одиниці об'єму фільтруючої коробки площі фільтруючого матеріалу, гофруванням. Так, улаштовані практично всі фільтри до багаторазових респіраторів. Однак, можливість нарощування робочої поверхні фільтрації в заданих габаритах обмежуються експлуатаційними параметрами: товщиною фільтруючого матеріалу та щільністю упакування. У такій ситуації дуже актуальними є дослідження, спрямовані на встановлення границь варіювання величинами цих параметрів, для мінімізації опору дихання респіраторів.

Для оцінки впливу технічних показників фільтруючого шару на якість респіраторів скористаємося теорією фільтрації аерозолів.

$$\Delta p = \frac{4 \pi \mu v L}{f(\beta)}, \quad (3.2)$$

де μ – динамічна в'язкість газу; $L = \beta H / (a^2 \pi)$ – загальна довжина волокон у фільтрі з одиничною площею, 1/м; H – товщина фільтруючого шару, м; a – радіус волокон, м; β – щільність упакування волокон; $f(\beta) = -\chi - 0,5 \ln \beta$ – гідродинамічний коефіцієнт, що залежить від характеру плинності газу між волокнами; χ – поправочний коефіцієнт.

$$K = \exp(-2a\eta \Sigma L), \quad (3.3)$$

де η_{Σ} – сумарний коефіцієнт захоплення аерозольних частинок

Виконаємо деякі операції з фільтруючим матеріалом.

По-перше, зменшимо радіус волокон.

По-друге, підвищимо їхню щільність упакування.

І нарешті, зменшимо товщину матеріалу, виходячи з заданого рівня проникності фільтруючого шару з метою вирівнювання його значення з початковим, тобто до початку перетворень.

З приведених вище виразів (3.1) і (3.2) випливає, що після першої операції відносна зміна опору і проникності складе, відповідно:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p} = \frac{a^2}{a_1^2} ; \frac{\ln K_1}{\ln K} = \frac{a \eta_{\Sigma}(a_1)}{a_1 \eta_{\Sigma}(a)} .$$

Неважко переконатися, що збільшення радіуса волокон призведе до зменшення опору фільтруючого шару (див. рис. 3.1).

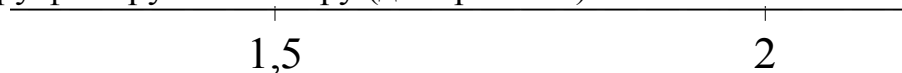


Рисунок 3.1 – Залежність відносного опору фільтруючого матеріалу від зміни радіуса волокон.

При цьому існує область розмірів волокон, де коефіцієнт проникнення фільтруючого шару буде найменшим (рис. 3.2).

Подальше збільшення радіуса волокон, хоча і приведе до поліпшення ергономічних показників ЗІЗОД, але погіршить їхні захисні властивості. Дійсно, після підвищення щільності упакування одержимо

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \frac{\beta_2 f(\beta_1)}{\beta_1 f(\beta_2)} ; \frac{\ln K_2}{\ln K_1} = \frac{\beta_2 \eta_{\Sigma}(f(\beta_2))}{\beta_1 \eta_{\Sigma}(f(\beta_1))} ; \frac{H_2}{H_1} = \frac{\beta_1}{\beta_2}$$

Рисунок 3.2 – Залежність відносної проникності фільтруючого матеріалу від зміни радіуса волокон при щільності упакування 0,05

Аналізуючи ці залежності, бачимо, що з ростом щільності упакування опір фільтруючого матеріалу зростає (рис. 3.3).

Рисунок 3.3 – Залежність відносного опору фільтруючого матеріалу від зміни щільності упакування волокон.

Характерно, що проникність фільтруючого шару також має область мінімізації при визначеній щільності упакування, а зі збільшенням останньої захисні властивості фільтруючого матеріалу погіршуються (рис. 3.4).

Рисунок 3.4 – Залежність відносної проникності фільтруючого матеріалу від зміни щільності упакування волокон при радіусі 2,5 мкм

Зі зменшенням товщини фільтруючого шару маємо

$$\frac{\Delta p_3}{\Delta p_2} = \frac{\ln K_3}{\ln K_2} = \frac{H_3}{H_2} \cdot$$

Збільшення товщини фільтруючого шару однаково впливає і на опір і на проникність (рис. 3.5). Чим більше товщина, тим більше опір і тем вище ефективність уловлювання аерозолів цим фільтром.

Рисунок 3.5 – Зміна відносного опору і відносної проникності від зміни товщини фільтруючого шару

З огляду на, що величина товщини фільтруючого матеріалу обернено пропорційна значенню щільності упакування, можемо зробити висновок, що зі збільшенням останньої можна досягти такої ж ефективності фільтрації, як і при нарощуванні товщини. Здався, чим тонше фільтруючий матеріал, тим гірше

захисні властивості фільтрів, проте, за рахунок більш щільнішого розташування волокон, можна покращити якість уловлювання аерозолів фільтруючим шаром. Це вказує на можливість підвищення компактності фільтрів без утрат їхньої якості.

При гофрированні фільтруючого матеріалу утворюються канали, розмір яких уздовж потоку повітря набагато більше, ніж поперек (рис. 3.6)

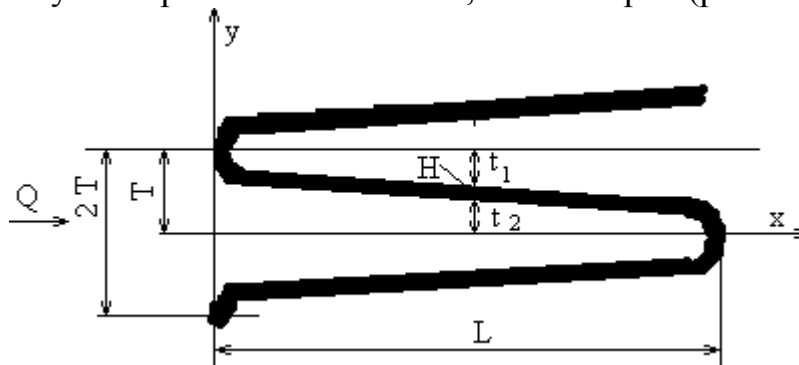


Рисунок 3.6 – Схема гофри фільтра.

Відстань між гофрами фільтра можна визначити

$$T = t_1 + t_2 + H,$$

де t_1 , і t_2 – ширина входного і вихідного каналів фільтра, відповідно.

Таким чином, при зменшенні товщини фільтруючого шару, за інших рівних умовах, відбудеться збільшення ширини каналів між складками фільтра. У свою чергу, це дозволить зменшити шаг складки, щоб витримати необхідну відстань між гофрами. Іншими словами, ту ж робочу площу фільтруючого матеріалу, без погіршення показників якості ЗІЗОД, можна укласти в набагато менший об'єм фільтруючої коробки. Отже, при тих же габаритах фільтруючої коробки в ній можна розмістити більше фільтруючого матеріалу малої товщини і тим самим підвищити захисні властивості респіратора.

Для перевірки теоретичних передумов у "Випробувальній лабораторії технічної експертизи засобів колективного й індивідуального захисту Національного гірничого університету" були проведені порівняльні випробування фільтрів, за основними показниками (опір дихання і проникність). При цьому для дослідження брали як фільтруючі елементи, що серійно виготовляються (традиційні) до респіратора «РПА-ТД» (геометричні розміри приведені на рис. 3.7) так і спеціально виготовлені, з такими ж розмірами, але з різною щільністю упакування волокон і товщиною фільтруючого шару. Причому для виробництва фільтрів використовували поліпропіленовий фільтруючий матеріал «елефлен» (товщина 4 мкм; щільність упакування 0,25). Експериментальні зразки формували з такого ж матеріалу, але товщина фільтруючого шару складала 2,5...3...3,5 мкм, а щільність упакування волокон 0,4...0...0,5 (рис. 3.8).

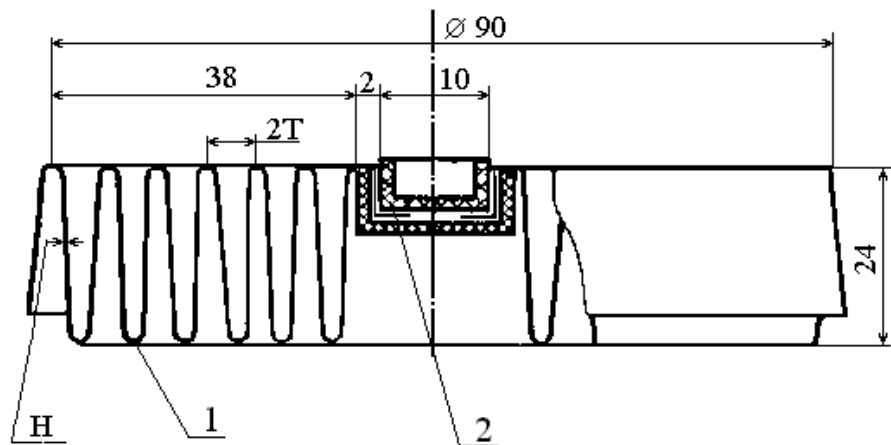


Рисунок 3.7 – Схема фільтруючого елемента до респіратора «РПА-ТД»: 1 – фільтруючий матеріал; 2 – ковпачок

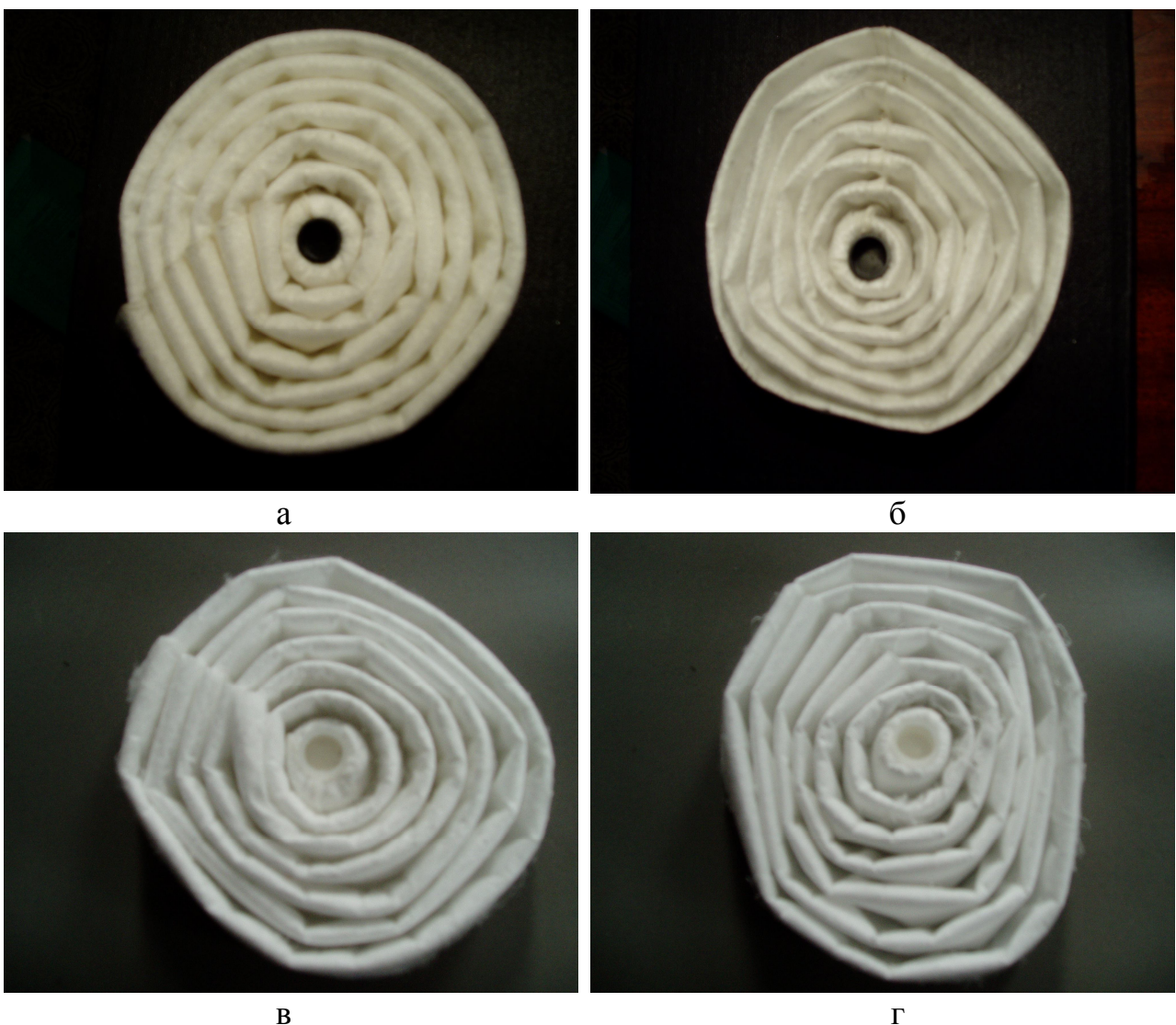


Рисунок 3.8 – Фільтруючі елементи до респіратора «РПА-ТД»: а – товщина фільтруючого шару 4 мкм, щільність упакування 0,25; б – 2,5 мкм, 0,5, у – 3,5 мкм, 0,4; м – 3,0 мкм, 0,45.

Для визначення показників якості фільтруючих елементів використовувалися наступні атестовані методики випробувань:

- ДСТУ 10188-74 “Коробки фільтруючі до протигазів і респіраторів. Метод визначення опору постійному потоку повітря” – для оцінки опору фільтрів постійному потоку повітря);

- ДСТУ 12.4.119-82 “ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Метод оцінки захисних властивостей по аерозолям” – для визначення коефіцієнта проникнення по тест-аерозолю (масляний туман).

Результати випробувань партії фільтруючих елементів по 10 штук приведені в табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Порівняльні іспити фільтрів з «елефлена» з різною щільністю упакування і товщиною фільтруючого шару до респіратора «РПА-ТД»

Обумовлені показники	Щільністю упакування; товщина фільтруючого шару, мкм			
	0,25; 4,0	0,5; 2,5	0,45; 3,0	0,4, 3,5
Коефіцієнт проникання по тест-аерозолю МТ із діаметром часток 0,28-0,34 мкм; ДО,%	0,729±0,05	0,657 ± 0,05	0,653 ± 0,05	0,786 ± 0,05
Опір постійному потоку повітря з витратою повітря 15 л/хв; Δр, Па	21,9 ± 1,5	17,6 ± 2,4	18,7 ± 1,9	20,1 ± 1,7

Аналізуючи наведені результати, бачимо, що фільтри з меншою товщиною фільтруючого шару мають показники кращі за традиційні. При цьому площа фільтрації не змінилася. Тому, збільшуючи щільність упакування і зменшуючи товщину фільтра, підвищуємо ефективність респіратора.

Крім того, зі зменшенням товщини матеріалу збільшилася відстань між гофрами, що виключило злипання останніх у нижній частині фільтра (рис. 3.8 а). Це свідчать про те, що існує оптимальний шаг складки у фільтра, при якому показники його якості будуть оптимальними.

Таким чином, мінімізація габаритів фільтруючих коробок за рахунок збільшення щільності і зниження товщини фільтруючих шарів можлива. При цьому основні показники якості респіратора не погіршуватися, як очікувалося, а навіть поліпшаться. З іншого боку, виготовляючи більш тонкий фільтруючий матеріал, але з підвищеною щільністю, можна істотно покращити ергономічну складову ЗІЗОД, за рахунок більш рівномірного розподілу повітряного потоку за висотою гофрів. Однак, це зажадає внести зміни в технологічний процес виготовлення фільтрів і геометричні параметри формуючої матриці, що розраховуються виходячи з щільності фільтруючого матеріалу.

3.2 Визначення параметрів фільтра в залежності від властивостей фільтруючих матеріалів

Рішення попередньої задачі виявило необхідність у проведенні додаткової оцінки впливу властивостей фільтруючих матеріалів на геометричні розміри

фільтрів, оскільки збільшення фільтруючої поверхні за рахунок гофрирування не завжди приводить до покращення показників фільтра. Дійсно, порівнюючи значення коефіцієнта проникнення, отримані при випробуваннях не гофрованих зразків фільтруючого матеріалу елефлен (площею 50 см²) і традиційних фільтрів з цього матеріалу з площею 500 см² (див. табл. 3.2) при однаковій швидкості фільтрації, робимо висновок, що в гофрованих фільтрів коефіцієнт проникнення більше. Це зв'язано з тим, що швидкість руху повітря розподіляється нерівномірно по висоті гофрів. Для будь-якої заданої висоти фільтра (гофри) існує граничний шаг складки, при якому спостерігається рівномірний розподіл швидкості фільтрації, і в цьому випадку буде найменший опір диханню і коефіцієнт проникнення. Подальше зменшення шагу складки недоцільно, тому що швидкість фільтрації буде збільшуватися за рахунок зменшення поверхні фільтруючого матеріалу.

Таблиця 3.2 – Порівняння показників гофрованого і не гофрованого матеріалів

Тип зразка	Швидкість фільтрації	Перепад тиску, Па	Коефіцієнт проникання масляного тумана, %
Зразок фільтруючого матеріалу (4-шаровий)	0,6	6,4±0,1	0,1±0,005
Шестискладчастий фільтр	0,6	21,9±2,5	0,23±0,05

У ході лабораторних і виробничих досліджень фільтрів було помічено, що за малим шагом складки через велику товщину фільтруючих шарів частина поверхні матеріалу сусідніх гофрів стискається, а тому виключається з процесу фільтрації. Це приводить до зниження технічних показників фільтрів. Для виключення цього недоліку було запропоновано, виготовляти фільтри, витримуючи співвідношення між висотою гофрів L і шагом 2T – 3...5 до 1. Слід зазначити, що співвідношення між шагом складки і його висотою традиційних фільтрів до респіратора РПА складає 3,8:1, тобто відповідає рекомендованій величині. Однак, у деяких зразках спостерігається повне злипання поверхонь гофрів, особливо у фільтрів з матеріалу ФПП, (рис. 3.9 – 1, 2). Це можна пояснити тим, що при виготовленні фільтрів, в якості підкладки і покриваючого шару (для збільшення жорсткості фільтруючого матеріалу із ФПП) застосовують сучасні матеріали, параметри яких відрізняються від тих, що були закладені в технологію виготовлення раніше (рис. 3.10). А конструкцію фільтруючих елементів не адаптували до змін товщини або щільності упакування, що і призвело до погіршення в ряді випадків фільтруючих і ергономічних показників респіраторів.

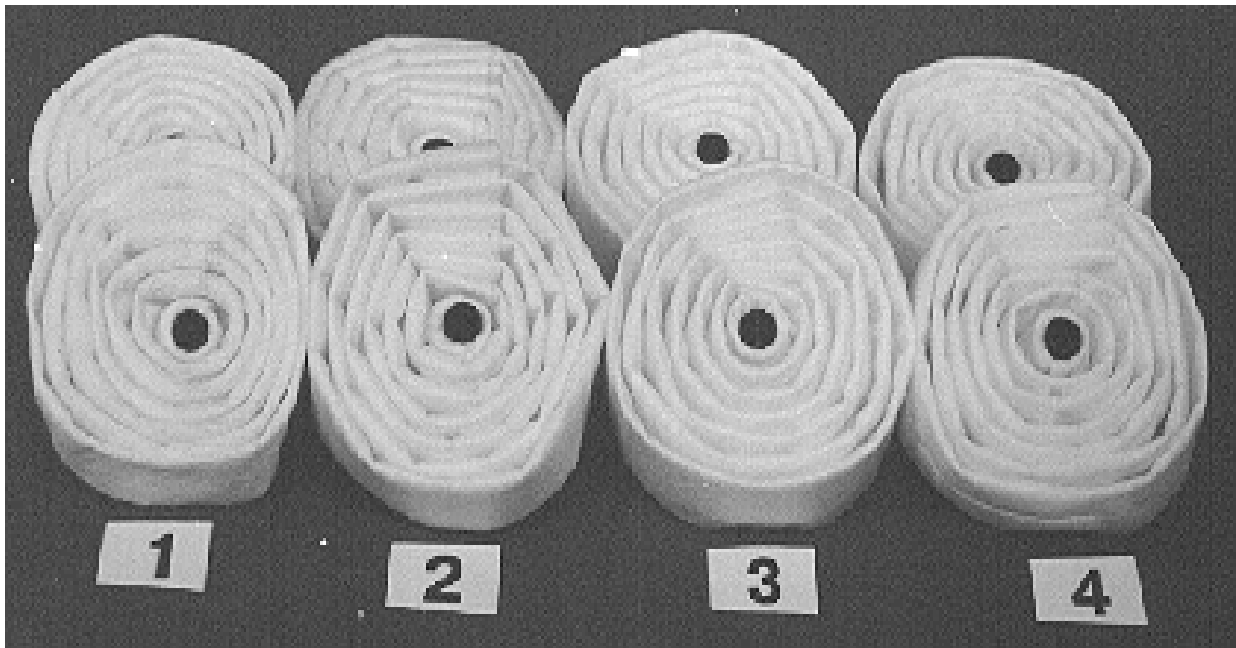


Рисунок 3.9 – Фільтри до респіратору РПА: 1 – фільтри, виготовлені з ФПП 15-1,5; 2 – фільтри, виготовлені з ФПП 15–0,6; 3 – фільтри, виготовлені з матеріалу мелтбλουн; 4 – фільтри, виготовлені з елефлена

У фільтрів, виготовлених з поліпропіленових матеріалів, також спостерігається часткове змикання складок. Це обумовлено вмістом у цих матеріалах великої частки тонких волокон з низькою жорсткістю, що під дією перепаду тиску при вдиху призводить до змикання суміжних поверхонь складок (рис. 3.4). В інших видах переважає частка більш грубих волокон і фільтруючий елемент здобуває велику жорсткість, однак при цьому спостерігається часткове змикання поверхонь складок фільтра після його формування (рис. 3.9 – 3, 4).

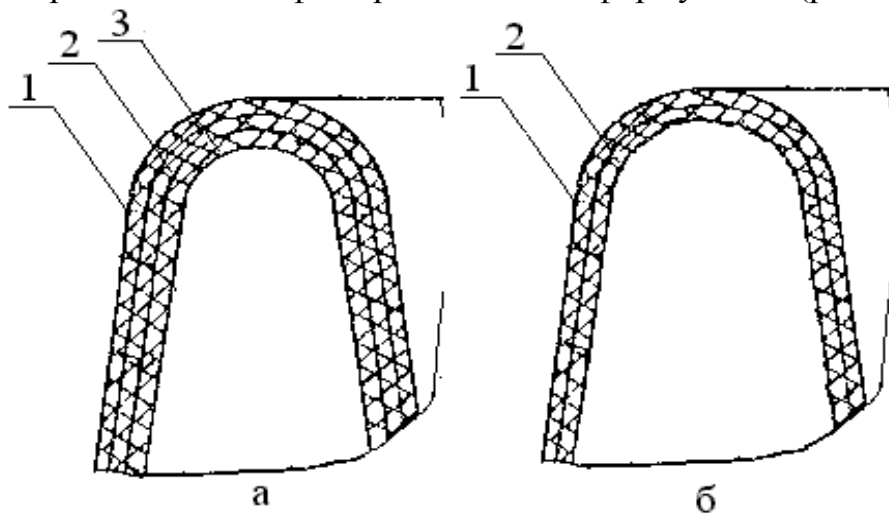


Рисунок 3.10 – Гофри фільтруючих елементів: а – фільтр із ФПП: 1 – під ложка, 2 – фільтруючий матеріал, 3 – покриваючий шар; б – фільтр із поліпропіленового матеріалу: 1 – зовнішній шар матеріалу фільтра, 2 – внутрішній шар матеріалу фільтра

Як бачимо, у кожному випадку необхідно враховувати особливості фільтруючого матеріалу. При цьому, щоб визначити оптимальну висоту і шаг складки фільтра, необхідно співвідносити конструктивні параметри фільтра і технічні показники фільтруючого матеріалу.

Для визначення швидкості фільтрації по довжині гофри, опору і коефіцієнта проникання фільтрів запропоновано кілька методик. Так, у роботі [33] автор указав, що при гофрируванні волокнистого шару швидкість фільтрації відрізняється від швидкості потоку, що набігає на весь фільтр, при цьому вона не дорівнює середньої швидкості повітря, що проходить через матеріал. Визначивши перепад тиску на фільтрі, який представляють як суму втрат на подолання опору фільтруючого матеріалу й опору, викликаного стисненням потоку стінками гофрів, можна розрахувати швидкість фільтрації. У цьому випадку перепад тиску на фільтрі складе

$$\Delta p_{\phi} = \Delta p_{\phi.\phi} + \Delta p_{\phi.m.}, \quad (3.4)$$

де $\Delta p_{\phi.m.}$ – перепад тиску, викликаний проходженням потоку через фільтруючий шар, Па; $\Delta p_{\phi.\phi}$ – перепад тиску, викликаний формою фільтра, Па:

$$\Delta p_{\phi.\phi} = \frac{1}{2} \sum \xi \rho v_{\kappa}^2, \quad (3.5)$$

де $\sum \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів; ρ – питома щільність газу, г/м³; v_{κ} – швидкість повітря в каналі, м/с.

Ефективну швидкість фільтрації визначимо з вираження [33]

$$v_{\phi} = \sqrt{v_{cp}^2 + \frac{\sum \xi v_{\kappa}^2}{F_{\phi} C_D}}, \quad (3.6)$$

де v_{cp} – середня швидкість повітря, що проходить через матеріал, м/с; C_D – коефіцієнт лобового опору ізольованого циліндра.

Такий підхід можливий для промислових фільтрів, у яких виникає турбулентний режим руху повітря. У нашому ж випадку, при малих швидкостях руху газу (повітря), перепад тиску, розрахований за цим виразом, буде мати мінімальне значення, не більше 0,1 Па. Крім того, у запропонованому технічному рішенні швидкість фільтрації по довжині гофри приймається постійною.

У роботі [34] запропонований метод розрахунку показників фільтра, заснований на вирішенні системи рівнянь гідродинаміки, що описують течію повітряного потоку в будь-якому каналі зі змінною витратою повітряного потоку через фільтруючий матеріал при малих числах Рейнольдса.

Розподіл швидкості фільтрації по глибині гофри прямокутної конфігурації можна визначити з вираження [34]

$$v = v_{cp} \lambda \left(\frac{1 - \delta + \delta c L \lambda}{sh \lambda} ch(\lambda \phi) - sh(\lambda \phi) \right), \quad (3.7)$$

де $\lambda = L(SC_f/\delta C_f)^{1/2}$; $\delta = 1/(1+(C_2/C_1))$ – коефіцієнти, що залежать як від геометрії гофрування, так і від властивостей фільтруючого матеріалу; C_f і $C_{1,2}$ – коефіцієнти опору фільтруючого матеріалу і каналів – вхідного і вихідного відповідно; $\phi = x/h$.

На рис. 3.11 показані розраховані при різних значеннях коефіцієнта λ залежності $v/v_{cp} = f(\phi)$ для випадку, коли вхідний і вихідний канали однакові по ширині ($\delta = 0,5$). Видно, що більш рівномірний розподіл швидкості спостерігається, коли $\lambda \rightarrow 0$.

Згідно [34] перепад тиску на гофрованому фільтрі дорівнює:

$$\Delta p_\phi = \lambda [ctL\lambda - (1-\delta)th(\lambda/2) + (1+\delta)(\delta\lambda + (1-2\delta)th(\lambda/2))] C_f v_{cp} \quad (3.8)$$

У роботі [35] показники фільтрації визначалися з урахуванням зміни градієнта тиску, розподілу швидкості повітряного потоку $v(x)$ уздовж несиметричного гофру. При цьому розподіл швидкості фільтрації можна визначити за формулою

$$v(x) = \frac{\lambda Q}{t_1^3 + t_2^3} \frac{t_2^3 cL \lambda x + t_1^3 ch \lambda (L-x)}{sh \lambda L} \quad (3.9)$$

а перепад тиску

$$\Delta p_\phi = [3\mu v_0(t_1+t_2)L/(t_1^3+t_2^3)] \times \dot{\epsilon} \times [1 + (2ch(\lambda L) + (t_1/t_2)^3 + (t_2/t_1)^3)/\lambda Lsh(\lambda L)] \quad (3.10)$$

де $\lambda = 3C_f(t_1^3+t_2^3)/Ht_1^3t_2^3$; Q – витрата повітря; v_0 – швидкість потоку, що набігає на фільтр; t_1 і t_2 - ширина відповідно вхідного і вихідного каналів.

В даний час у всіх вітчизняних респіраторних застосовується фільтруючий елемент, що виготовляється із заготовки усіченого конуса в виді гофрованого циліндра, який характеризується шагом складки $2T$ і висотою L . Для з'ясування працездатності проаналізованих вище методів розрахунку опору до гофрованих фільтрів респіраторів були виконані експериментальні дослідження фільтрів до респіратора РПА. Для встановлення залежності $\Delta p_\phi = f(Q)$ було взято по декілька фільтрів, виготовлених з матеріалу елфлен. При заданій витраті повітря визначалося середнє значення перепаду тиску, при цьому розкид значень склав не більш 5 %. На рис. 3.12 наведено порівняння експериментальних і теоретичних даних.

Рисунок 3.11 – Розподіл швидкості по висоті гофрів: 1 – $\lambda = 5$; 2 – $\lambda = 3$; 3 – $\lambda = 2$

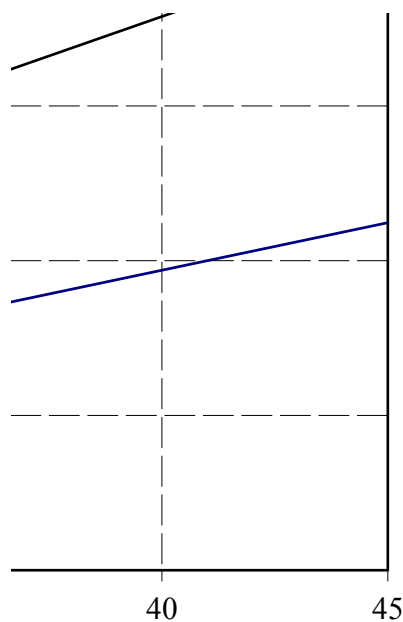


Рисунок 3.12 – Залежність опору фільтра від витрати повітря: 1 – пряма, отриманий по формулі (3.8); 2 – пряма, отримана за формулою (3.10); 3 – експериментальні значення

Як бачимо, теоретичні дані, мають занижені значення опору дихання. Це зв'язано з тим, що перепад тиску Δp залежить і від опору фільтруючого матеріалу C_f , і від опору каналів, утворених гофрами. При цьому у формулі (3.8) не враховано останнє, що і викликає значну розбіжність в даних. Пряма, отримана по формулі (3.10), розташовується ближче до експериментальних даних. Розбіжність можна пояснити тим, що коефіцієнт λ не враховує специфіки роботи фільтра респіратора. Так, наприклад, при установці фільтрів у коробку респіратора вони часто деформуються, що і приводить на деяких ділянках до

повного злипання гофрів. Таким чином, що фільтруюча коробка сприяє збільшенню загального опору ЗИЗОД.

Значну розбіжність експериментальних і теоретичних даних при великих витратах повітря можна пояснити тим, що фільтри респіраторів не мають ребер жорсткості (чи достатньої товщини фільтруючого матеріалу, здатної забезпечити необхідну жорсткість), як це передбачено в промислових фільтрах для чистих кімнат (кондиціонерів) [36], тому гофри під дією тиску у верхній частині злипаються, і тим сильніше, чим більша витрата повітря. Це підтверджується наявністю на фільтрі не робочих світлих плям, розташованих на середині гофрів (рис. 3.13).

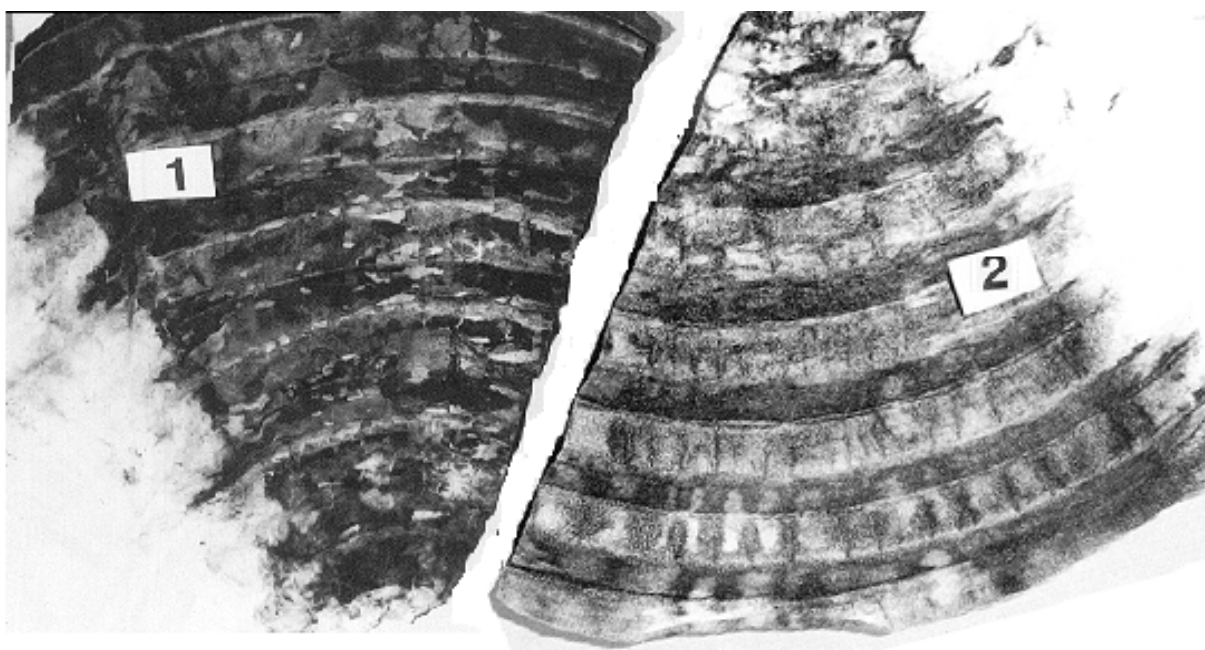


Рисунок 3.13 – Розгорнення фільтрів респіатора РПА: 1 – з ефелена 2 – із ФПП 15 – 1,5

У зв'язку з викладеним, практичний інтерес представляє задача виявлення характеру розподілу швидкості фільтрації за довжиною симетричної гофри, що буде визначатися з урахуванням тиску повітря в його каналах.

Тиск у вхідному каналі шириною t згідно [33] складає:

$$p_1 = p_1(0) - \frac{3\mu v_{cp} x}{t^2} + \frac{3\mu}{t^3} \int_0^x dx \int_0^{x_1} v(x_2) dx_2, \quad (3.11)$$

а у вихідному каналі

$$p_2 = p_2(0) - \frac{3\mu}{t^3} \int_0^x dx \int_0^{x_1} v(x_2) dx_2, \quad (3.12)$$

де $p_i(0)$ – тиск на вході в канал.

Середню вхідну швидкість можемо визначити з балансу мас

$$v_{cp} t = v_0 T \equiv Q = \int_0^L v(x) dx \quad (3.13)$$

Плин повітряного потоку через фільтруючий матеріал зі швидкістю $v(x)$ описується законом Дарсі і залежить від товщини H_m , щільності β і діаметра волокон фільтруючого матеріалу [35]. Перепад тиску можна визначити як різницю перепадів тиску

$$p_1(x) - p_2(x) = C_f v(x) \quad (3.14)$$

де $C_f = 4\pi\mu L_e / k_0$.

Підставляючи в (3.13) вирази (3.11) і (3.12), одержимо рівняння, що визначає $v(x)$

$$p_1(0) - p_2(0) - \frac{3\mu Qx}{t^3} + \frac{6\mu}{t^3} \int_0^x dx_1 \int_0^{x_1} v dx_2 = C_f v(x) \quad (3.15)$$

Після дворазового диференціювання для $v(x)$, з огляду на (3.13), одержимо просте диференціальне рівняння другого порядку з постійним коефіцієнтом:

$$\frac{d^2 v}{dx^2} = \lambda^2 v(x), \quad \lambda^2 = \frac{6\mu}{C_f t^3}$$

Рішення цього рівняння відомо [34]. Підставляючи порогові значення

$$v'(0) = -0,5 \lambda Q, \quad v'(L) = 0,5 \lambda Q,$$

які впливають з (3.15) після однократного диференціювання для симетричної гофри одержимо

$$v(x) = \frac{\lambda Q}{2} \frac{ch \lambda x + ch \lambda (L-x)}{sh \lambda L} \quad (3.16)$$

Перепад тиску на гофрах визначимо, виходячи з виразів (3.11) і (3.12)

$$\Delta p = p_1(0) - p_2(L) = \frac{3\mu v_0 L}{2t^2} + \frac{C_f [v(L) + v(0)]}{2} \quad (3.17)$$

Після підстановки (3.15) одержимо

$$\Delta p = \frac{3\mu v_0 L}{t^2} \left(1 + \frac{2ch \lambda L}{\lambda L sh \lambda L} \right) \quad (3.18)$$

При злипанні гофрів частина фільтруючого матеріалу виключається з процесу фільтрації, отже, зміниться коефіцієнт опору фільтра. Щоб врахувати

ці зміни, введемо в λ безрозмірний коефіцієнт k_ϕ , що залежить від витрати повітря, тоді

$$\lambda = \sqrt{\frac{6\mu k_\phi(Q)}{C_f t^3}}, \quad (3.19)$$

де $k_\phi(Q)$ – коефіцієнт пропорційності, що враховує збільшення опору за рахунок злипання складок гофрів.

Таким чином, параметр гофрування λ характеризує вплив як геометрії фільтра, так і властивостей фільтруючого матеріалу на ступінь нерівномірності розподілу в ньому швидкостей фільтрації по глибині каналів. Крім того, він враховує і злипання гофрів, що залежить як від витрати повітря, так і від впливу фільтруючої коробки. На рис. 3.14 приведені теоретичні криві залежності $\Delta p = f(Q)$, для різних фільтруючих матеріалів, що добре співпадають з експериментальними даними.

Рисунок 3.14 – Залежність опору фільтра від витрати повітря: 1 – фільтри, виготовлені з матеріалу елефлен; 2 – фільтри з ФПП 15-1,5

Максимальне розходження теоретичних і експериментальних результатів не перевищило 7 %. При цьому найкраще експериментальні дані були апроксимовані при $k_\phi = k_1 Q$, де k_1 – емпіричний коефіцієнт, що склав для фільтрів з елефлена $k_1 = 13$, а для фільтрів із ФПП $k_1 = 10$.

Далі, для розрахунку оптимальні висоти і шага складки необхідно виконати умову мінімальності Δp , що має вид трансцендентного рівняння [33]

$$\frac{shz}{z} + 2chz - 5 = 0, \quad z = \lambda L = L[(6\mu k_1 Q)/(C_f t^3)]^{1/2}, \quad z \approx 1.234.$$

Таким чином, оптимальні розміри гофри визначаються із співвідношення

$$\frac{L^3}{t^3} = \frac{z^2 C_f L}{6\mu k_1 Q}, \quad t = \sqrt[3]{\frac{6\mu L^2 k_1 Q}{z^2 C_f}}. \quad (3.20)$$

Задавшись витратою повітря через фільтр і знаючи висоту фільтра, за виразом (3.20) можна визначити ширину каналу і відповідно крок складки, при яких фільтр буде мати найменший опір.

Для оцінки впливу гофрування фільтра на коефіцієнт проникнення, а також і на захисну ефективність, скористаємося вираженням (2.16). Далі, визначивши з вираження (3.18) загальну довжину волокон у фільтрі, знайдемо коефіцієнт проникання фільтра за формулою:

$$K = \exp\left[-2a\eta_{э.с.} \frac{\left(\frac{2\Delta p}{Q\mu} - \frac{3L}{t^3}\right) f(\beta)}{4\pi\lambda \coth(\lambda L)}\right]. \quad (3.21)$$

На рис. 3.15 наведено криві залежності коефіцієнта проникнення за тест-аерозолем – масляний туман для матеріалу елефлен від витрати повітря для традиційних фільтрів до респіратора РПА (1) і для фільтруючого матеріалу без гофрів з площею фільтрації, яка дорівнює площі заготовки фільтра (2).

Рисунок 3.15 – Залежність коефіцієнта проникнення за масляним туманом для матеріалу елефлен від витрати повітря: 1 – фільтруючий елемент до респіратора РПА; 2 – зразок фільтруючого матеріалу елефлен

Через нерівномірність розподілу навантаження по висоті гофрів у сформованих фільтрах коефіцієнт проникання більше, ніж у вихідного зразка фільтрувального матеріалу, при цьому зі збільшенням витрати повітря ця

розбіжність збільшується, що говорить про злипання гофрів і виключенні деякої частини матеріалу з процесу фільтрації.

Таким чином, при визначенні параметрів фільтра респіратора облік властивостей фільтруючих матеріалів дозволяє забезпечити мінімальні втрати ефективності фільтрації.

3.3 Висновки

1. Мінімізація габаритів фільтруючих коробок можлива за рахунок збільшення щільності і зниження товщини фільтруючих шарів. При цьому основні показники якості респіратора не погіршуватися, а при відповідному підборі товщини фільтрувального матеріалу і геометричних розмірів гофрів – поліпшуються.

2. Установлено, що в процесі роботи гофрованого фільтра відбувається змикання складок, що приводить до погіршення показників фільтрації. Це обумовлено типом і товщиною матеріалу, що використовується як підкладка, а також жорсткістю фільтруючого матеріалу і швидкістю фільтрації. Зменшення товщини фільтруючого шару при постійному числі складок приводить до збільшення ширини каналу між ними і зменшує імовірність злипання складок.

3. Оцінено ступінь впливу основних показників фільтруючих матеріалів на параметри фільтрів і з урахуванням цього запропонована математична модель для розрахунку геометричних розмірів фільтруючих елементів.

4. Уперше на основі лабораторних досліджень установлено, що в гофрованих фільтруючих елементів респіраторів, що не мають спеціальних вставок між гофрами для збільшення жорсткості, аеродинамічний опір нелінійно залежить від швидкості фільтрації.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВМАСКИ НА ОСНОВНІ ЗАХИСНІ І ЕРГОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

4.1 Взаємозв'язок між захисною ефективністю і властивостями фільтруючих елементів

Використання індивідуальних захисних засобів органів дихання може привести до зниження працездатності людини на 20...30%. Тому важливо мати респіратори, які б забезпечили надійний захист при мінімальному навантаженні.

До факторів, що визначають якість ЗІЗОД, відносяться: принцип дії і призначення; конструктивні особливості і показники, включаючи показники захисту і ергономічні властивості; склад і кількісний зміст шкідливих речовин у виробничій атмосфері, складність виконуваних робіт; мікрокліматичні умови на робочому місці (температура, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря). Облік перерахованих факторів є основною задачею організації застосування засобів захисту, як з погляду забезпечення необхідного захисту від шкідливих речовин у мікрокліматичних умовах робочої зони, так і з боку фізіологічного впливу на організм людини, зручність користування конкретними зразками.

Як відомо, однією з головних характеристик будь-якого респіратора є коефіцієнт проникнення шкідливих речовин через респіратор, %, його можна визначити

$$K_n = \frac{W_2}{W_1},$$

де W_1 – масова витрата шкідливих речовин, які надходять на ЗІЗОД, мг/с; W_2 – масова витрата шкідливої речовини в за ЗІЗОД, мг/с.

Коефіцієнт проникнення респіратора в цілому K_n залежить, як від параметрів фільтруючого елемента, так і від щільності смуги обтюрації респіратора на обличчі людини, яка обумовлює підсмоктування повітря, минаючи фільтруючий елемент.

Аналіз роботи респіратора дозволив виділити в ньому два потоки надходження аерозолів у підмасочний простір: один потік проходить через фільтруючий елемент, а інший – через щілини за смугою обтюрації (рис. 4.1).

Оскільки в щілинному зазорі аерозольні часточки не затримуються, то масова витрата шкідливих речовин за респіратором складе

$$W_2 = K_n^{\phi.\varepsilon} W_{\phi.\varepsilon} + W_{n.o.}, \quad (4.1)$$

де $W_{\phi.\varepsilon}$ – інтенсивність надходження аерозолу на фільтруючий елемент респіратора, кг/с; $W_{n.o.}$ – інтенсивність надходження аерозолу через смугу обтюрації респіратора, кг/с; $K_n^{\phi.\varepsilon}$ – коефіцієнт проникнення частинок через фільтруючий елемент.

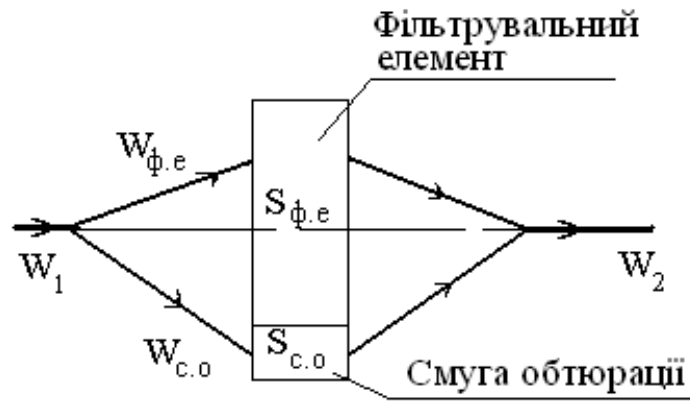


Рисунок 4.1 – Схема повітряних потоків у респіраторі

Ступінь проникнення шкідливих речовин, зокрема пилу, через фільтруючий елемент респіатора залежить від властивостей фільтруючого матеріалу, з якого виготовлений фільтр, і його форми. Коефіцієнт проникання через фільтруючий елемент легкої півмаски можна визначити за формулою (2.19), а через гофрований фільтр респіатора багаторазового використання за формулою (3.21)

Таким чином, коефіцієнт проникнення респіатора в цілому з урахуванням вираження (4.1), прийме вид

$$K_n = \frac{K_n^{\phi.э} W_{\phi.э} + W_{n.o.}}{W_1} \quad (4.2)$$

Масову витрату шкідливих речовин (аерозолів) зручно виразити через загальну об'ємну витрату повітря Q , м³/с, що надходить у респіратор, як

$$W = nQ \quad (4.3)$$

де n – концентрація часток у повітрі, що надходить у респіратор, мг/м³.

Представивши, що повітряний потік через респіратор і нещільності рухається за двома суміжними потоками з аеродинамічними опорами $R_{\phi.э.}$, $R_{n.o.}$, можна визначити об'ємну витрату повітря через фільтруючий елемент і щілини за смугою обтюрації із співвідношення

$$Q_{\phi.э.} = \frac{Q}{1 + \sqrt{\frac{R_{\phi.э.}}{R_{n.o.}}}}, \quad Q_{n.o.} = Q - Q_{\phi.э.} \quad (4.4)$$

де $R_{\phi.э.}$ – опір фільтруючого елемента, Па с²/м⁶; $R_{n.o.}$ – опір смуги обтюрації, Па с²/м⁶.

Підставивши вираження (4.3) і (4.4) у формулу (4.2) одержимо

$$K_n = \frac{K_n^{ф.э.} + \sqrt{\frac{R_{ф.э.}}{R_{н.о.}}}}{1 + \sqrt{\frac{R_{ф.э.}}{R_{н.о.}}}} \quad (4.5)$$

Таким чином, коефіцієнт проникання шкідливої речовини через респіратор, залежить не тільки від властивостей фільтруючого елемента, але і від підсмоктувань за смугою обтюрації. При цьому K_n буде тим більше, чим більше співвідношення аеродинамічних опорів фільтруючого елемента і смуги обтюрації, що ілюструє Рисунок 4.2.

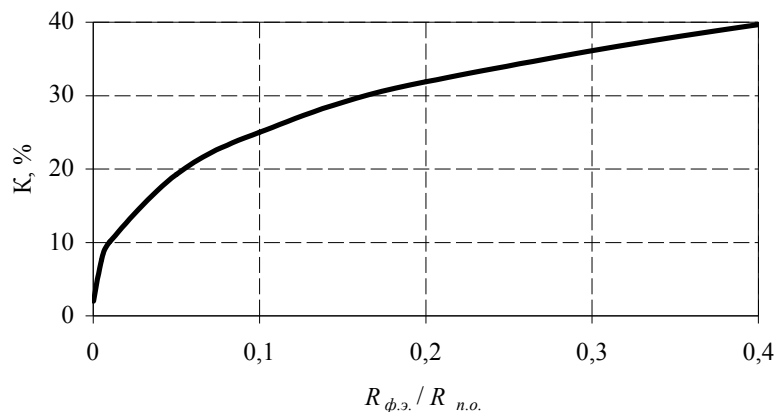


Рисунок 4.2 – Залежність коефіцієнта проникання тест-аерозолю через респіратор від відношення опорів фільтруючого елемента і смуги обтюрації – $R_{ф.э.}/R_{н.про}$

Аналізуючи вираження (4.5), приходимо до суперечливого висновку, що з ростом опору фільтруючого елемента, коефіцієнт проникання тест-аерозолю через респіратор збільшується. У той же час відомо, що зі збільшенням щільності фільтруючого матеріалу збільшуються його захисні властивості, але й опір фільтра зростає. Для вирішення протиріччя необхідно знайти оптимальний опір фільтруючого елемента, при якому буде забезпечуватися максимальна захисна ефективність респіратора.

Для оцінки впливу опору фільтрів на захисні властивості ЗІЗОД був проведений експеримент. Фільтруючі елементи з різним початковим опором по черзі встановлювалися в респіратор, що був закріплений на муляжі (рис. 4.3) так, щоб при зміні фільтрів його положення не змінилося. Для визначення коефіцієнта проникання ЗІЗОД використовувалася методика, викладена в розділі 1.3 для визначення пилоємності. При цьому вимірялися перепади тиску на фільтруючому елементі і на самому респіраторі. Визначалися також відповідні коефіцієнти проникання з використанням у якості тест-аерозолю масляного туману за методикою, наведеної в розділі 2.2.1. Отримані в експериментальні дані для різних фільтруючих матеріалів представлені в табл. 4.1 (стовпці 1-6). Для їхнього зіставлення обчислювалися значення коефіцієнтів ефективності обраних

фільтруючих матеріалів (елефлен, ФПП 15 – 0,6 і ФПП 15 – 1,5) і відповідно респіратора з цим матеріалом по загальній формулі

$$\alpha = -\frac{\lg K}{\Delta p}$$

Тут K – коефіцієнт проникання, %; Δp – перепади тиску на фільтрі, (респіраторі), Па.

Таблиця 4.1 – Дослідження основних показників якості ЗІЗОД

Варіант	Тип фільтруючого матеріалу	Перепад тиску на фільтрі, Па	Коефіцієнт проникнення МТ*, через фільтр, %	Перепад тиску на респіраторі, Па	Коефіцієнт проникнення МТ*, через респіратор, %	Коефіцієнт ефективності фільтра $\alpha_{\phi} = \lg K / \Delta p_{\phi}$	Коефіцієнт ефективності респіратора $\alpha_p = \lg K / \Delta p_p$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	елефлен	23,2	0,4	22,3	0,9	0,017	0,0021
2		22,3	0,5	21,5	0,8	0,013	0,0045
3		22,1	0,4	21,3	0,9	0,018	0,0021
4		22,3	0,5	20,9	0,8	0,013	0,0046
5		21,8	0,5	20,3	0,9	0,014	0,0023
1	ФПП 15 – 0,6	31,3	0,05	29,9	0,2	0,042	0,0234
2		32,6	0,03	29,6	0,2	0,047	0,0236
3		34,2	0,04	31,2	0,2	0,041	0,0224
4		32,7	0,03	30,3	0,2	0,047	0,0231
5		30,3	0,06	28,6	0,2	0,040	0,0244
1	ФПП 15 – 1,5	44,5	0,003	38,3	0,3	0,057	0,0137
2		44,3	0,004	38,9	0,2	0,054	0,0180
3		42,6	0,002	37,1	0,4	0,063	0,0107
4		42,6	0,004	36,9	0,2	0,056	0,0189
5		44,1	0,006	39,3	0,3	0,050	0,0133

МТ* - масляний туман

У результаті зіставлення отриманих в експерименті коефіцієнтів ефективності фільтрувального матеріалу і респіратора з цим же матеріалом (стовпці 7, 8 таблиці) встановлено, що захисна ефективність респіратора неоднозначно змінюється з ростом опору і щільності фільтруючого матеріалу. Як і було передбачено теоретичним аналізом, при досягненні деякого значення, збільшення опору приводить до перерозподілу повітряних потоків, що проходять безпосередньо через фільтр, і починають оминати його, що підвищує частку шкідливих речовин, які надходять до нещільностей смуги обтюрації респіратора.

Наочно зазначена залежність представлена на Рисунок 4.4 у виді функції коефіцієнта ефективності респіратора від коефіцієнта ефективності фільтруючого матеріалу, тобто фільтра.

$$y = 16799x^4 - 2642x^3 + 119,14x^2 - 1,0501x$$

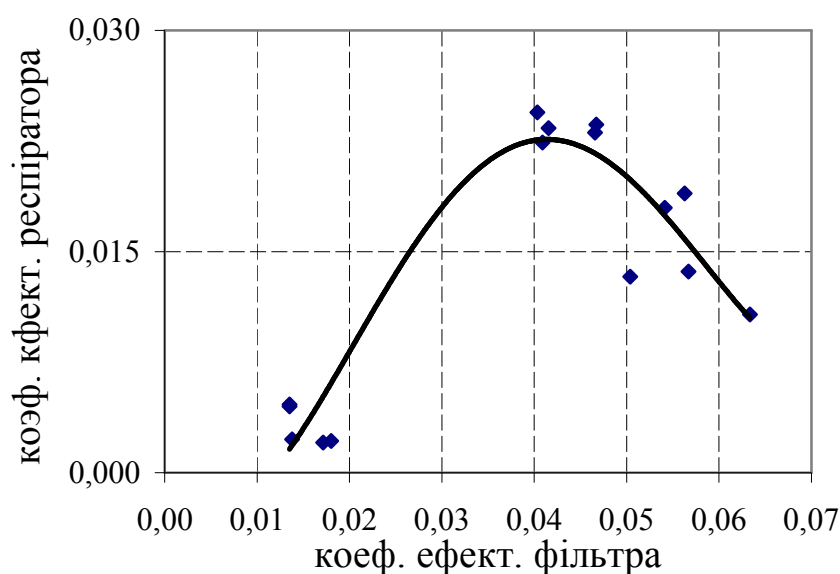


Рисунок 4.4 – Експериментальна залежність ефективності респірації від якості встановленого в ньому фільтра (суцільною лінією представлений тренд, рівняння якого представлено над графіком)

Як і очікувалося найкращу здатність уловлювати аерозольні частинки забезпечують фільтри із фільтруючого матеріалу ФПП 15 – 0,6 (експериментальні дані розташовані в області максимуму лінії тренда). Бачимо, що збільшення його щільності приводить до зниження якості респірації (крапки для ФПП 15 – 1,5 знаходяться праворуч від оптимуму і трохи нижче). Менш щільний елефлен (нижні крапки на графіку ліворуч від оптимуму).

Використання фільтруючих елементів з низьким коефіцієнтом проникання, тобто більш якісних, але з підвищеним опором, не завжди призводить до високої ступіні захисту ЗІЗОД в загалі. Очевидно, що зі збільшенням опору фільтрів необхідно збільшувати опір смуги обтюрації, інакше респіратори з високоефективними фільтруючими елементами через підвищений опір не забезпечать необхідного класу захисту.

Використання менш щільного, елефлена теж, на перший погляд, не ефективно, але його щільність можна підвищити простим збільшенням числа шарів стандартного матеріалу. Це приведе до росту його опору і до переміщення по лінії тренда на Рисунок 4.4 вправо, тобто наблизиться до оптимуму, що з урахуванням міцності і стійкості до вологи робить елефлен перспективним матеріалом для виготовлення респіраторів.

Як бачимо, створення надійного респірації залежить не тільки від якості фільтруючих матеріалів, застосовуваних у ЗІЗОД, яких, як відомо, на сьогодні багато на ринку, але і від якості всього респірації. Очевидно, що маска респірації повинна забезпечити оптимальне закріплення, як фільтрувальних елементів, так і самого респірації на обличчі працюючого. Це не тільки ергономічна задача, оскільки антропометричні характеристики обличчя хоча і

близькі, але все-таки індивідуальні і здатні істотно змінювати опір смуги обтюрації. Тому необхідні більш детальні дослідження для забезпечення відповідності опору смуги обтюрації респіратору, встановленому в ньому фільтру.

4.2 Дослідження механічного тиску напівмаски на м'які тканини обличчя людини

У числі гігієнічних властивостей, які характеризують несприятливий вплив ЗІЗОД на людину, важлива роль належить механічному тиску на тканини обличчя, який виникає через закріплення півмаски на голові.

Через появу локальних болючих відчуттів, виникаючих на обличчі, зв'язаних з порушенням місцевого кровообігу, робітники часто відмовляються від використання респіраторів. Це викликано насамперед нерівномірним розподілом сили притискання за смугою обтюрації респіатора. Крім того, на ділянках зі слабким притисканням у процесі експлуатації, особливо в результаті забивання фільтруючого елемента пиловим аерозолем, спостерігається, як ми переконалися раніше, збільшене протікання нефільтрованого повітря, що знижує ефективність ЗІЗОД в цілому. У свою чергу це змушує робітника сильніше натягати півмаску, тим самим, збільшуючи болючі відчуття. Залежність захисної ефективності від локального механічного тиску на м'які тканини обличчя показує, що для ліквідації нещільностей за смугою обтюрації сила притискання повинна знаходитися в межах 4 - 10 Н, при цьому механічний тиск на шкіру складе близько 2,5 - 5,2 кПа [38, 39]. Причому, як показали лабораторні дослідження, його розподіл не рівномірний, максимальний фіксується в області перенісся і підборіддя.

Оцінка величини тиску на м'які тканини обличчя людини досить складна, через відсутність у доступній літературі інформації про характер розподілу локальних навантажень уздовж обтюрації в залежності від параметрів окремих елементів ЗІЗОД, а також величини допустимого навантаження на м'які тканини обличчя. Тому виникає дуже актуальна задача дослідження залежності розподілу механічного тиску по смугі обтюрації від різних конструктивних параметрів півмасок з метою зниження болючих відчуттів і мінімізації підсмоктувань забрудненого повітря.

Подібна задача з деякими допущеннями була вирішена авторами для легкого респіатора Сніжок [40]. Однак отримані результати неможливо поширити на багаторазові респіратори (рис. 4.5), тому що, на відміну від одноразових ЗІЗОД, вагою їхньої напівмаски не можна зневажити. Крім того, вагу фільтруючих коробок також потрібно враховувати.



а)



б)

Рисунок 4.5 – Типи респіраторів: а – одноразові, в яких фільтруючий шар одночасно є каркасом; б - багаторазові, в яких півмаска виготовлена з еластичного матеріалу

Для вирішення поставленої задачі запропоновано розрахункову схему для найбільш розповсюдженого респілятора багаторазового використання РПА (Пульс). С обліком симетрії конструкції щодо площини УАХ (рис. 4.6, а) розглянута система зовнішніх сил і реакцій, що діють на респіратор.

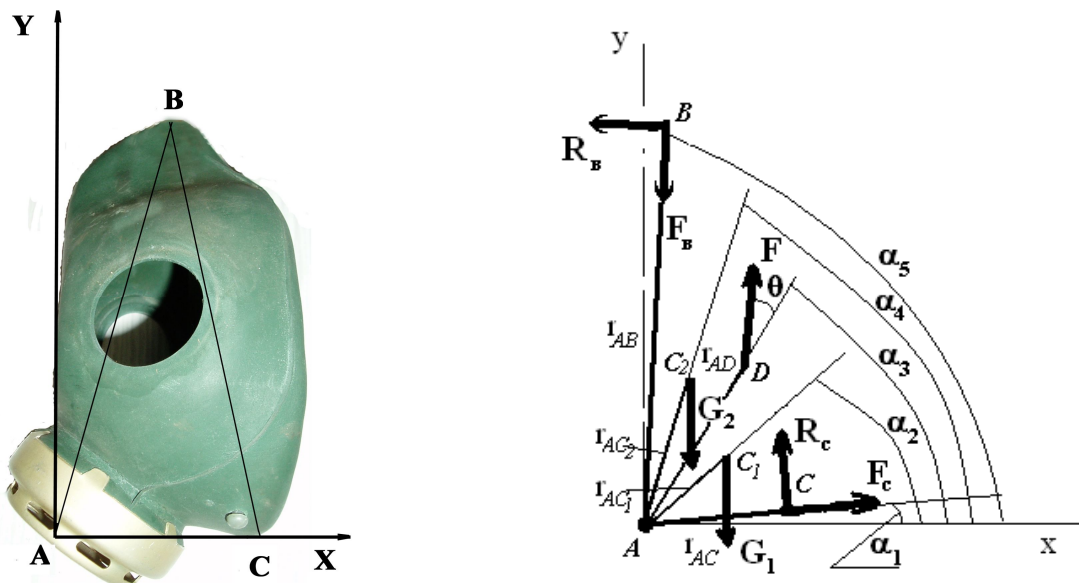


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема респілятора РПА

Півмаски цього респілятора бувають трьох розмірів з різними геометричними параметрами для забезпечення комфортного розташування їх на обличчях працівників. У табл. 4.2 приведені чисельні характеристики, що визначають основні розміри і кути півмаски другого розміру, тому що вона найбільш поширена.

Таблиця 4.2 – Чисельні характеристики напівмаски другого розміру

r_{AB} , ММ	r_{AC} , ММ	r_{AD} , ММ	r_{AC1} , ММ	r_{AC2} , ММ	α_1^0	α_2^0	α_3^0	α_4^0	α_5^0
118	14	32	18	23	8	15	35	62	75

Виходячи з експериментальних досліджень [39], реакції по смузі обтюрації можна звести до двох основних сил, зосереджених в області перенісся ($\overline{R_B}$) і підборіддя ($\overline{R_C}$). Крім того, на схемі позначені додаткові сили:

$\overline{G_1}$ і $\overline{G_2}$ – сили ваги маски і фільтруючої коробки;
 \overline{F} – сила натягу оголов'я;
 $\overline{F_B}$ і $\overline{F_C}$ – сили тертя.

Величина сил тертя

$$F_B = f_B R_B \text{ і } F_C = f_C R_C \quad (4.6)$$

визначається через відповідні реакції і коефіцієнти тертя між обтюратором і шкірою обличчя в області перенісся і підборіддя.

Система рівнянь сил, що діють на респіратор і забезпечують його статичне положення має вид:

$$\begin{cases} \sum M_A = 0; R_B r_{AB} + R_C r_{AC} + F r_{AD} \sin \theta - G_1 r_{AC_1} \cos \alpha_4 - G_2 r_{AC_2} \cos \alpha_2 = 0; \\ \sum F_{ix} = 0; -F_C \cos \alpha_1 - R_C \sin \alpha_1 + F \cos(\theta + \alpha_3) + F_B \cos \alpha_5 - R_B \sin \alpha_5 = 0; \\ \sum F_{iy} = 0; -F_C \sin \alpha_1 + R_C \cos \alpha_1 + F \sin(\theta + \alpha_3) + F_B \sin \alpha_5 + R_B \cos \alpha_5 - G_1 - G_2 = 0. \end{cases} \quad (4.7)$$

Фактично система рівнянь (4.7) описує граничний стан рівноваги півмаски респіратора на обличчі людини. Її рішення дозволить визначити найменше значення сил F , R_B , R_C , що забезпечують відносну нерухомість ЗІЗОД. Аналізуючи рішення системи (4.7), дійдемо висновку, що реакція в області підборіддя (крива 2) набагато більше, ніж в області перенісся (крива 1) (рис. 4.7), що підтверджується збільшеним проникненням забрудненого повітря в області перенісся при експлуатації респіратора (рис. 4.8).

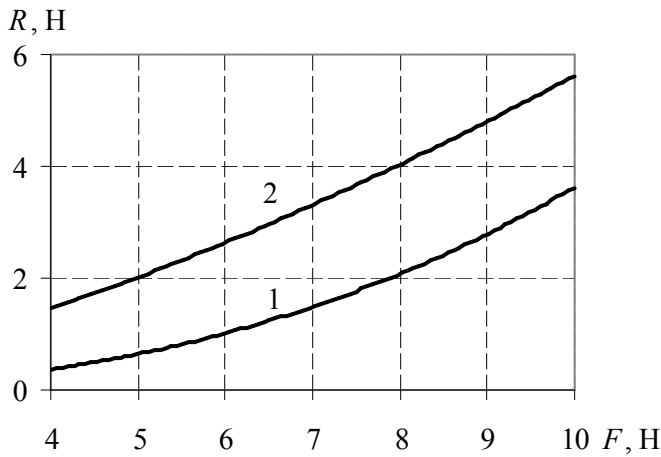


Рисунок 4.7 – Залежність реакцій в області перенісся (крива 1) і підборіддя (крива 2) від сили натягу



Рисунок 4.8 – Зони забруднення на обличчі гірника

Оцінимо вплив сили натягу оголов'я на реакції по смузі обтюрації. З першого рівняння системи (4.7) знаходимо:

$$F = G_1 r_{AC_1} \cos \alpha_4 + G_2 r_{AC_2} \cos \alpha_2 - R_B r_{AB} R_C r_{AC} / r_{AD} \cos \theta. \quad (4.8)$$

Запишемо друге і третє рівняння системи (4.7) з урахуванням (4.6) у виді:

$$\begin{cases} R_C (f_C \cos \alpha_1 - \sin \alpha_1) + F \cos(\theta + \alpha_3) + R_B (f_B \cos \alpha_5 - \sin \alpha_5) = 0; \\ R_C (f_C \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1) + F \sin(\theta + \alpha_3) + R_B (f_B \sin \alpha_5 - \cos \alpha_5) - G_1 - G_2 = 0. \end{cases} \quad (4.9).$$

Заміняючи значення сили F у цих рівняннях залежністю (4.8) і ввівши позначення

$$a_{11} = -f_c \cos \alpha_1 + \sin \alpha_2 - \frac{r_{AC} \cos(\theta + \alpha_3)}{r_{AD} \sin \theta};$$

$$a_{12} = f \cos \alpha_5 - \sin \alpha_5 - \frac{r_{AB} \cos(\theta + \alpha_3)}{r_{AD} \sin \theta};$$

$$a_{21} = -f_C \sin \alpha_1 + \cos \alpha_1 - \frac{r_{AC} \sin(\theta + \alpha_3)}{r_{AD} \sin \theta};$$

$$a_{22} = f_B \sin \alpha_5 + \cos \alpha_5 - \frac{r_{AB} \sin(\theta + \alpha_3)}{r_{AD} \sin \theta};$$

$$b_1 = -\frac{\cos(\theta + \alpha_3)}{r_{AD} \sin \theta} [G_1 \cos \alpha_4 r_{AC_1} + G_2 \cos \alpha_2 r_{AC_2} - R_B r_{AB} - R_C r_{AC}];$$

$$b_2 = G_1 + G_2 - \frac{\cos(\theta + \alpha_3)}{r_{AD} \sin \theta} [G_1 \cos \alpha_4 r_{AC_1} + G_2 \cos \alpha_2 r_{AC_2} - R_B r_{AB} - R_C r_{AC}],$$

приходимо до системи рівнянь

$$\begin{cases} R_C a_{11} + R_B a_{12} = b_1 \\ R_C a_{21} + R_B a_{22} = b_2 \end{cases},$$

рішення якої дозволить визначити реакції в області перенісся R_B і підборіддя R_C у залежності від місця дії сили F_5

$$R_C = \frac{b_1}{a_{11}} - \frac{a_{12}(b_2 a_{11} - b_1 a_{21})}{a_{11}(a_{22} a_{11} - a_{12} a_{21})}; \quad R_B = \frac{b_2 a_{11} - b_1 a_{21}}{a_{22} a_{11} - a_{12} a_{21}}. \quad (4.10)$$

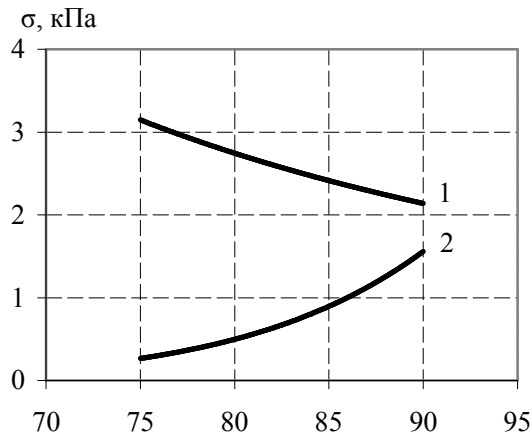
Для підвищення захисних властивостей і зменшення болючих відчуттів по смузі обтюрації необхідно, щоб тиск в області перенісся σ_b і підборіддя σ_c був однаковий. Зневажаючи нерівномірністю розподілу тиску по площі контакту, середні значення можна розрахувати за формулою:

$$\sigma_B = \frac{R_B}{S_B}, \quad \sigma_C = \frac{R_C}{S_C}, \text{ кПа}, \quad (4.11)$$

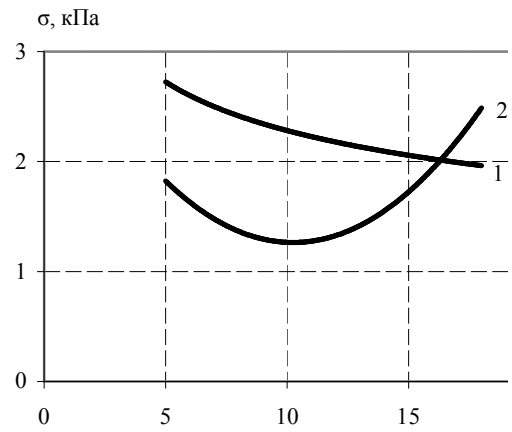
де S_B, S_C – площі контактних зон в області носа і підборіддя, м².

Оцінимо вплив геометричних розмірів маски респіратора на величину напруг σ_B і σ_C , використовуючи залежності (4.10) і (4.11).

Межі зміни геометричних розмірів маски невеликі й обмежені антропометричними розмірами обличчя. Однак навіть у такому відносно невеликому діапазоні можна знайти такі значення геометричних параметрів напівмаски, при яких реакції в області перенісся і підборіддя будуть рівні чи близькі. Так, на Рисунок 4.9 а, б показані графіки зміни σ_B і σ_C у залежності від кутів α_1, α_5 , що визначають границі маски.



a)

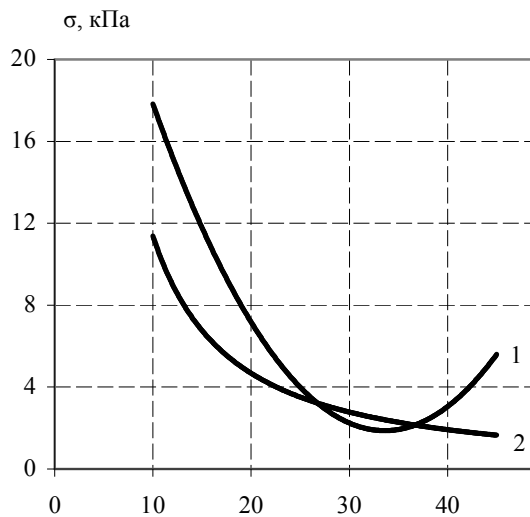


б)

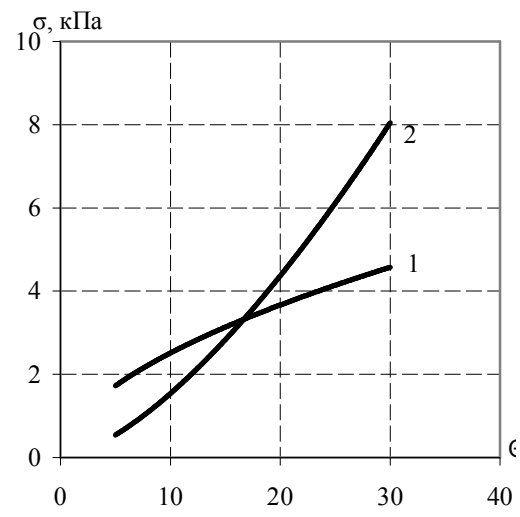
Рисунок 4.9 – Залежності напруг σ_y (крива 1) і σ_z (крива 2) від геометричних параметрів маски (кутів α_1 і α_5)

З приведених залежностей випливає, що найменша різниця (близько 35 %) між цими напругами буде при куті $\alpha_5 = 90^\circ$, зі зменшенням цього кута розходження між реакціями в області перенісся і підборіддя зростає. В області зміни кута α_1 існує таке його значення ($\alpha_1 = 16^\circ$), при якому $\sigma_y = \sigma_z$ (рис. 4.9, б). Однак напівмаска з таким кутом буде незручною в експлуатації.

Розташування оголов'я істотно впливає на перерозподіл напруг (рис. 4.10 а, б).



a)



б)

Рисунок 4.10 – Залежності напруг σ_y (крива 1) і σ_z (крива 2) від розташування оголов'я

Так, відповідно до отриманих залежностей, побудованим на підставі виразів (4.9) і (4.10), при $23,5 < \alpha_3 < 33,5$ напруги σ_y і σ_z близькі між собою, а на границях цього діапазону рівні. За межами цієї ділянки різниця між ними різко зростає, що говорить про незбалансованість конструкції півмаски, оскільки місце

прикладення сили натягу F знаходиться нижче центра мас. При зміні положення оголов'я щодо кріплення шляхом варіювання кутом θ (рис. 4.10, б) можна знайти кут $\theta = 14^\circ$, при якому також напруги вирівнюються.

Таким чином, експериментальні й аналітичні дослідження показали нерівномірність розподілу тисків за смугою обтюрації респіратора. Однак у результаті дослідження впливу конструктивних параметрів на величини напруг установлені їхні такі значення, при яких напруги в області перенісся і підборіддя врівноважуються, що забезпечить мінімальне проникнення нефільтрованого повітря через нещільності півмаски. Також, більш рівномірний розподіл навантажень дозволить застосовувати фільтруючі елементи з великим опором, а значить і високою захисною ефективністю.

4.3 Оцінка впливу форми напівмаски одноразових респіраторів на їхні основні показники

Для того щоб задовольнити вимоги споживачів сучасні одноразові респіратори, характеризуються великою розмаїтістю конструкцій. Однак, їх усі можна віднести до трьох основних типів: «конверт» – до переваг відносять велику площу фільтрації, що дозволяє зменшити опір дихання і збільшити термін служби (рис. 4.11 а); «кишенькового типу» – до їхніх переваг відносять невеликі габаритні розміри, що робить їх зручними в експлуатації (рис. 4.11 б); формована півмаска – характеризується високою захисною ефективністю (рис. 4.11 в).



а



б



в

Рисунок 4.11 – Фільтруючі напівмаски: а – „конверт”; б – кишенькові; в – формовані

Таке різноманіття конструкцій фільтруючих півмасок змушує зробити оцінку їхнього впливу на основні показники і виявити найбільш оптимальний варіант.

У результаті експериментальних досліджень було встановлено, що захисні і ергономічні показники одноразових півмасок відрізняються від таких же

показників зразків фільтруючого матеріалу, площа фільтрації яких дорівнює площі виготовлених з них ЗІЗОД (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Результати досліджень півмасок із зразками фільтруючого матеріалу

Тип зразка	Початкова швидкість фільтрації, v_0 , м/с	Перепад тиску на ЗІЗОД, Δp , Па	Коефіцієнт проникання тест-аерозолю, ДО %
Зразки фільтруючого матеріалу елефлен	0,015	$8,1 \pm 0,5$	$1,1 \pm 0,005$
Респіратор ШБ-1 «Пелюсток-40Е»	0,015	$10,9 \pm 0,4$	$2,3 \pm 0,005$

Це розходження викликане різницею у розподілі за площею швидкості фільтрації. При випробуванні зразків фільтруючих матеріалів швидкість фільтрації по всій площі була постійною. Конструкція напівмаски приводить до нерівномірного розподілу повітряного потоку по площі, що приводить до перевантаження одних ділянок і виключення з процесу фільтрації інших. Таким чином, проаналізувавши розподіл швидкості фільтрації по площі напівмасок можна оцінити їх ефективність роботи.

У першому наближенні конструкцію одноразового респіратора (формована напівмаска) можна представити виді кульового сегмента (рис. 4.12).

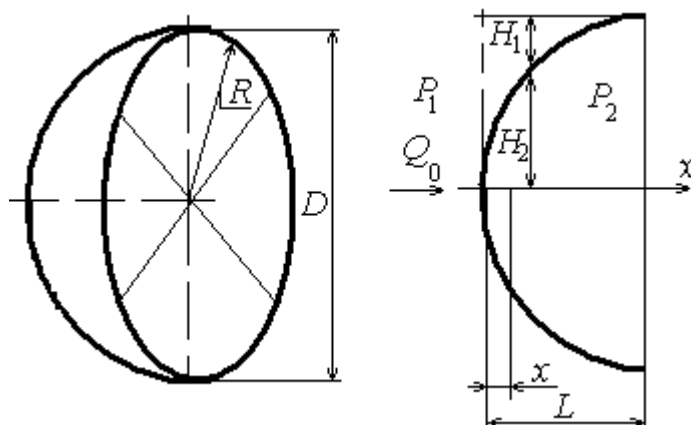


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема фільтруючої напівмаски

Тоді перепад тиску при ламінарному режимі руху повітря можна оцінити за допомогою формули Пуазеля [41]

$$\frac{dp}{dx} = C_p Q, \quad (4.12)$$

де dp – перепад тиску на елементарній ділянці фільтруючої напівмаски; C_p – коефіцієнт опору респіратора

$$C_p \approx \frac{3\mu}{SH_i^3},$$

де H_i – ширина каналів, що утворить напівмаска.

Перепад тиску на фільтруючому шарі визначають виходячи з закону Дарсі

$$P_1 - P_2 = C_f v, \quad (4.13)$$

де $C_f = 4\pi\mu L_e / k_0$ – коефіцієнт опору фільтруючого шару; μ – динамічна в'язкість повітря; L_e – загальна довжина волокон фільтруючого шару; k_0 – гідродинамічний коефіцієнт

Підставимо (4.12) у ліву частину похідної (4.13), а в праву

$$\frac{dv}{dx} = \frac{dQ}{dF} = \frac{d^2 Q}{S dx^2},$$

де S – периметр основи респіратора.

Одержимо диференціальне рівняння для руху повітряного потоку в півмасці

$$\frac{d^2 Q}{dx^2} - \lambda Q = 0, \quad (4.14)$$

де $\lambda = (C_1 - C_2)S / C_f$ – коефіцієнт, що враховує вплив конструкції півмаски і параметрів фільтруючого шару.

Рішення цього рівняння при початкових умовах

$$x = 0; \quad Q = Q_0; \quad \frac{dQ}{S dx} = v_0,$$

має вид

$$Q(x) = A_1 e^{x\sqrt{\lambda}} + A_2 e^{-x\sqrt{\lambda}}, \quad (4.15)$$

де $A_1 = \frac{Q_0 \sqrt{\lambda} + S v_0}{2\sqrt{\lambda}}$; $A_2 = -\frac{Q_0 \sqrt{\lambda} - S v_0}{2\sqrt{\lambda}}$; v_0 – початкова швидкість фільтрації.

Визначимо перепад тиску на ЗІЗОД, виходячи з формул (4.12) і (4.15). Порівняємо розрахункову величину з експериментальними даними, що отримані для респіраторів «кишенькового типу» (Росток) і формованої напівмаски (зібраний респіратор ШБ-1 «Лепесток-40Е») виготовлених однакового фільтруючого матеріалу (елефлен), у першому випадку коефіцієнт λ склав 1,5, у другому $\lambda=1,3$. Визначення перепаду тиску на цих ЗІЗОД проводили відповідно

до методики приведеної в розділі 2.2.2 на установці схема якої зображена на Рис. 1.6. Принцип її дії описаний у розділі 1.3. Експериментальні значення величини перепаду тиски показані на Рисунок 4.13 у виді крапок.

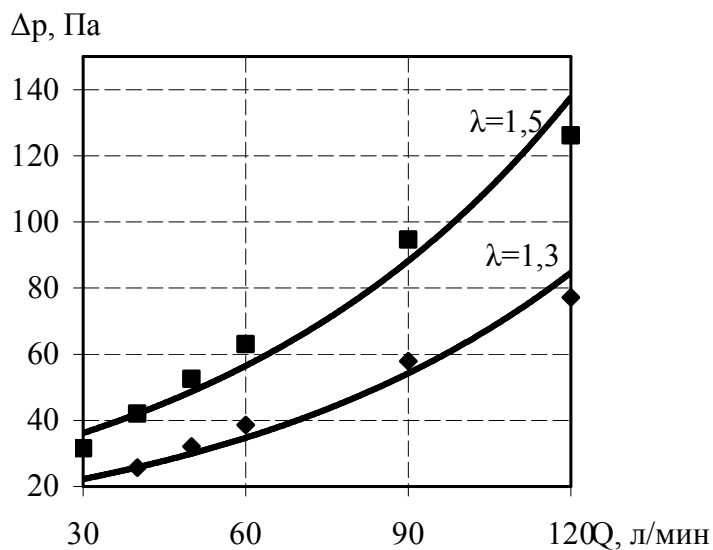


Рисунок 4.13 – Криві залежності перепаду тиску на одноразових півмасках від витрати повітря

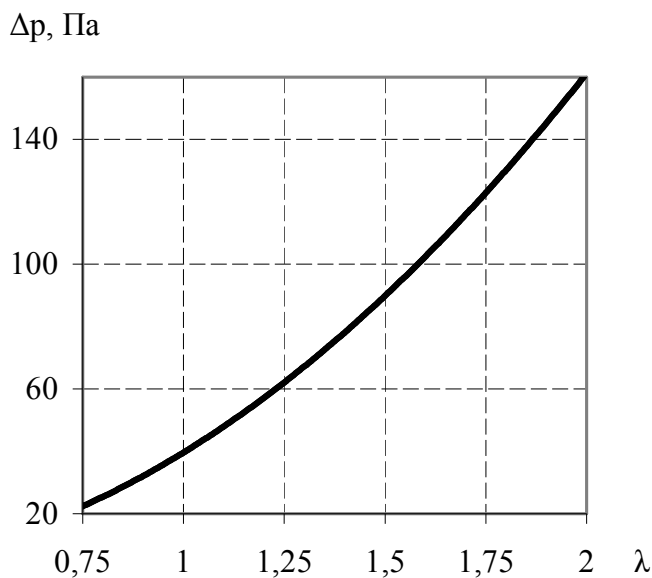


Рисунок 4.14 – Залежність перепаду тиску від коефіцієнта, що враховує вплив конструкції півмаски і параметрів фільтруючого шару

Аналізуючи отримані результати, приходимо до висновку, що конструкція півмаски усе-таки впливає на рівномірність розподілу повітряного потоку по її площі. Чим більше коефіцієнт, що враховує вплив конструкції напівмаски і параметрів фільтруючого шару λ , тим більше опір півмаски. У випадку рівного

зразка фільтруючого матеріалу, коли відсутні величини опорів каналів, утворених вигином півмаски $\lambda = 0$, перепад тиску буде залежати тільки від величини опору фільтруючого шару. Цим і пояснюється різниця в показниках між ЗІЗОД і зразками фільтруючого матеріалу, приведених у табл. 4.3.

Розглянемо, як же впливає конструкція півмаски на нерівномірність питомого навантаження на фільтруючий шар. Для цього визначимо відношення швидкості фільтрації по довжині півмаски до її середнього значення $v_{cp} = Q_0 / SL$:

$$\frac{v}{v_{cp}} = \frac{dQ/Sdx}{v_{cp}} = (A_1 \sqrt{\lambda} e^{x\lambda} - A_2 \sqrt{\lambda} e^{-x\lambda}) \frac{L}{Q_0},$$

де L – довжина напівмаски

На Рисунок 4.15 приведені графіки функції, що показують, наскільки швидкість повітряного потоку через ЗІЗОД відрізняється від середньої її величини. Як бачимо, коефіцієнт λ відіграє істотну роль у розподілі питомого навантаження по довжині напівмаски. Чим він менше, тим більше рівномірно розподіляється швидкість фільтрації по довжині півмаски. Таким чином, для оцінки одноразових півмасок необхідно для кожного визначити цей коефіцієнт. Чим він менше, тим респіраторефективніше, оскільки в нього не відбувається питомих перевантажень на одних ділянках фільтруючого шару і недовантаження на інших, що збільшує коефіцієнт проникнення (табл. 4.3). В оптимальній конструкції півмаски швидкість повітряного потоку по всій її довжині повинна бути однаковою.

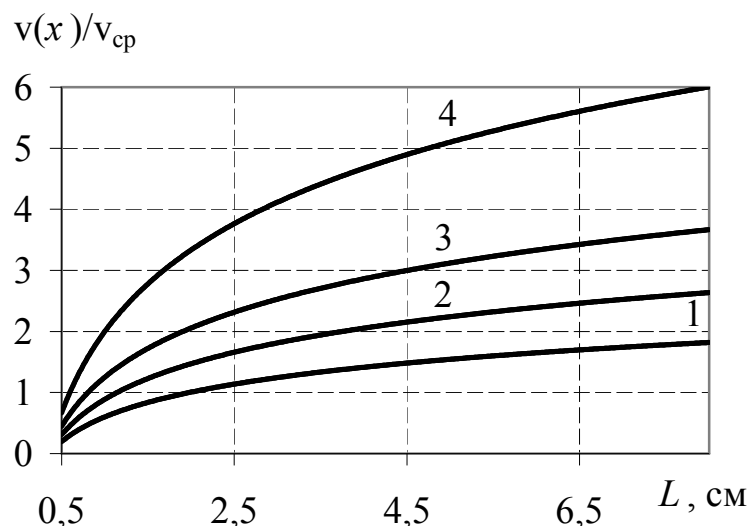


Рисунок 4.15 – Криві залежності питомого навантаження по довжині напівмаски: 1 – $\lambda = 0,5$; 2 – $\lambda = 1,0$; 3 – $\lambda = 1,5$; 4 – $\lambda = 2,0$

Величину коефіцієнта λ , для будь-яких одноразових респіраторів обчислимо використовуючи математичний апарат Mathcad, з рівняння

$$\Delta p = \frac{C_f \lambda}{S} \left(\frac{Q_0 \sqrt{\lambda} + v_0 S}{2\sqrt{\lambda}} e^{L\sqrt{\lambda}} - \frac{Q_0 \sqrt{\lambda} - v_0 S}{2\sqrt{\lambda}} e^{-L\sqrt{\lambda}} \right),$$

виходячи з експериментальних значень перепадів тиску, що визначалися відповідно до методики викладеної в розділі 2.2.1. Основні параметри порівнюваних напівмасок приведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристики півмасок

Тип ЗІЗОД	Початкова витрата повітря, Q_0 , м ³ /с	Початкова швидкість фільтрації, v_0 , м/с	Коефіцієнт опору фільтруючого матеріалу, C_f , кг·м ² /с	Довжина півмаски, L, м	Периметр основи півмаски, S, м	Коефіцієнт, λ
ЗМ 8820	0,0005	0,015	1100	0,06	0,63	1,69
Росток 2	0,0005	0,014	600	0,08	0,65	2,25
НІ Ж ОК П	0,0005	0,017	1500	0,07	0,67	3,24

Найменший коефіцієнт λ , має формована півмаска. Отже, необхідно вибирати, що для працівника в тих чи інших виробничих умовах найкраще, якщо необхідно забезпечити максимальну захисну ефективність, то використовуйте формовані респіратори, якщо зручність, то підбирайте півмаски «кишенькового» типу.

4.4 Висновки

1. У рамках побудови математичної моделі фільтруючого елемента і маски респіратора проведена теоретична оцінка захисної ефективності фільтруючих респіраторів проаналізовано потоки надходження аерозольних частинок у підмасочний простір фільтруючого респіратора, що дозволило виділити в ньому два паралельних потоки: один, – через фільтруючий елемент, а інший, – через щілини по смузі обтюрації (смузі прилягання до обличчя людини). При цьому отримана аналітична залежність коефіцієнта проникання шкідливих речовин через респіратор..

2. Коефіцієнт проникнення респіратора (K_n) в цілому залежить, як від параметрів фільтруючого елемента, так і від щільності смуги обтюрації респіратора на обличчі людини, котра обумовлює підсмоктування повітря, минаючи фільтруючий елемент. При цьому K_n буде тим більше, чим більше співвідношення аеродинамічних опорів фільтруючого елемента і смуги обтюрації.

3. Використання фільтруючих елементів з низьким коефіцієнтом проникання, тобто більш якісних, але з підвищеним опором, не завжди призводить до високої ступіні захисту ЗІЗОД в загалі. Очевидно, що зі збільшенням опору фільтрів необхідно збільшувати опір смуги обтюрації, інакше респіратори з високоефективними фільтруючими елементами через підвищений опір не забезпечать необхідного класу захисту.

4. Експериментально і аналітично встановлено нерівномірність розподілу механічного тиску респіратора РПА за смугою обтюрації. Реакція в області підборіддя набагато більша, ніж в області перенісся. Це зумовлює і низьку захисну ефективність.

5. Вперше у результаті дослідження впливу конструктивних параметрів на величини механічних напружень, що виникають при контакті півмаски з обличчям працюючого, установлені значення напружень в області перенісся і підборіддя, що врівноважуються, забезпечуючи мінімальне проникнення нефільтрованого повітря через нещільності півмаски. Рівномірний розподіл навантажень по смузі обтюрації дозволить застосовувати фільтруючі елементи з підвищеним опором, а значить і більшою захисною ефективністю.

6. Встановлено, що конструкція півмаски впливає на рівномірність розподілу повітряного потоку по її площі. При цьому, чим більше значення теоретично визначеного коефіцієнту (λ), що враховує вплив конструкції напівмаски і параметрів фільтруючого шару, тим більше опір півмаски. У випадку плоского фільтруючого матеріалу, коли не проявляються опори каналів, утворених вигином півмаски, цей коефіцієнт дорівнює нулю, а перепад тиску на респіраторі буде залежати тільки від величини опору його фільтруючого шару. Цим і пояснюється різниця в показниках ЗІЗОД і зразків самого фільтруючого матеріалу, з якого він виготовлений, а величина згаданого коефіцієнта λ певною мірою визначає якість респіратора і може виступати критерієм оптимальності його параметрів.

5 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Формулювання задач розрахунку показників фільтруючих матеріалів

Встановлення зв'язків між параметрами фільтруючих матеріалів та їх основними показниками необхідне для вирішення двох взаємозалежних задач. Пряма задача – прогноз рівня перепаду тиску на зразках фільтруючого матеріалу, уловлювання аерозольних часток та пиломісткості (ці параметри необхідні для виготовлення фільтрів і ЗІЗОД) виходячи з величини діаметра волокон, товщини фільтруючого шару, щільності упакування волокон і режиму фільтрації. Зворотна задача – розрахунок оптимальної структури фільтруючого матеріалу, яка задовольнила вимоги зі ступені захисної ефективності, опору дихання ЗІЗОД та його пиломісткості в залежності від умов виробничого середовища.

Пряма задача вирішується досить просто: визначивши основні розміри

фільтруючого шару (діаметр волокон, товщина, щільність упакування волокон) та установивши відповідну швидкість фільтрації, за допомогою формул (2.3), (2.14), (2.22) можна розрахувати перепад тиску зразка фільтруючого матеріалу, його коефіцієнт проникнення для визначеного діаметру часток, а отже і ефективність фільтрації та пиломісткість.

Необхідно уточнити, що при швидкості фільтрації до 2 см/с коефіцієнт захоплення можна визначати за формулою (2.22). При швидкостях фільтрації понад 2 см/с коефіцієнт захоплення розраховуємо, використовуючи вираз (2.17), так як, електростатичний механізм захоплення аерозольних часток послаблює свою дію.

Для проектування і розробки ЗІЗОД важливим є вирішення зворотної задачі. Оскільки, при відповідному режиму праці з урахування умов експлуатації необхідно забезпечити такі показники ЗІЗОД, які б при максимальній захисній ефективності мали мінімальний вплив на функціональний стан працівників. Наприклад, виходячи з концентрації аерозолю від якого потрібен захист C_1 і ступеня його біологічної небезпеки, що оцінюється за величиною гранично-допустимої концентрації (ГДК) встановлюється коефіцієнт захисту

$$K_3 = C_1 / \text{ГДК} ,$$

який є вихідним для розрахунку основних параметрів фільтруючого матеріалу для виготовлення ЗІЗОД. Беручи його значення за основу визначаємо діаметр волокон, щільність їх упакування та товщину фільтруючого шару. Потім звертаємо увагу на величину перепаду тиску фільтруючого матеріалу, з якої витікає значення опору дихання фільтра або ЗІЗОД в цілому (повинна перевищувати 60 Па, [4]).

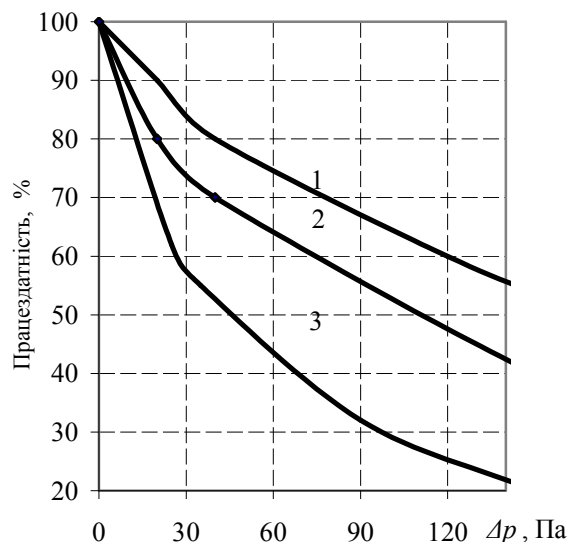


Рисунок 5.1 – Залежність величини працездатності від перепаду тиску при навантаженні, Вт: 1 – 150; 2 – 200; 3 – 250

Кожний тип праці характеризується щохвилинним об'ємом дихання, який від важкості праці збільшується. Тим самим при використанні ЗІЗОД

буде зростати і перепад тиску на ньому, що збільшить витрати енергії і зменшить працездатність. Це було підтверджено при виконанні стандартних завдань на велоергометрі з довільним диханням відповідно до ГОСТ 12.4.061-88 „Метод визначення працездатності людини у засобах індивідуального захисту” (табл. 5.1). Досліджувані (чоловіки) працювали з навантаженням 200 Вт близько 2,6 хв до відмови, а в респіраторі з опором дихання 20 Па час скоротився до 2,4 хв. Це свідчить про те, що наявність ЗІЗОД швидше призводить до втоми, а, отже, і до зменшення обсягу роботи [42]. На рис. 5.1 наведено криві залежності величини працездатності людини від перепаду тиску на респіраторах з різними видами навантажень.

Таблиця 5.1 – Результати експерименту на велоергометрі

Показник	Фізичне навантаження без ЗІЗОД, Вт			Фізичне навантаження з опором дихання 20 Па, Вт			Фізичне навантаження з опором дихання 40 Па, Вт			Фізичне навантаження з опором дихання 60 Па, Вт		
	150	200	250	150	200	250	150	200	250	150	200	250
Час роботи до відмови, с	196	157	132	187	146	117	171	133	104	142	108	83
Працездатність, %	100			95,2	92,5	87,2	85,4	81,9	73,1	62,0	54,7	41,0
Втрата працездатності, %	–			4,8	7,5	12,8	14,6	18,1	26,9	38,0	45,3	59,0

Таким чином, визначивши параметри фільтруючого матеріалу необхідно розрахувати очікуваний опір дихання готового виробу і порівняти з нормативними значеннями. Важливим є також визначення пиломісткості фільтра, величина якої визначає термін дії ЗІЗОД.

Подібні задачі були вирішені деякими авторами [43-45]. Так, у роботах [43, 44] автори запропонували залежності для визначення параметрів голкопробивних матеріалів, що були отримані в результаті експериментальних досліджень і придатні тільки для їх розрахунку. У роботі [45] наведено метод розрахунку фільтруючих матеріалів, для забезпечення вискоефективного очищення газів при найменшому перепаду тиску на фільтрах.

Ця методика базується на залежності початкового опору від ефективності фільтрації:

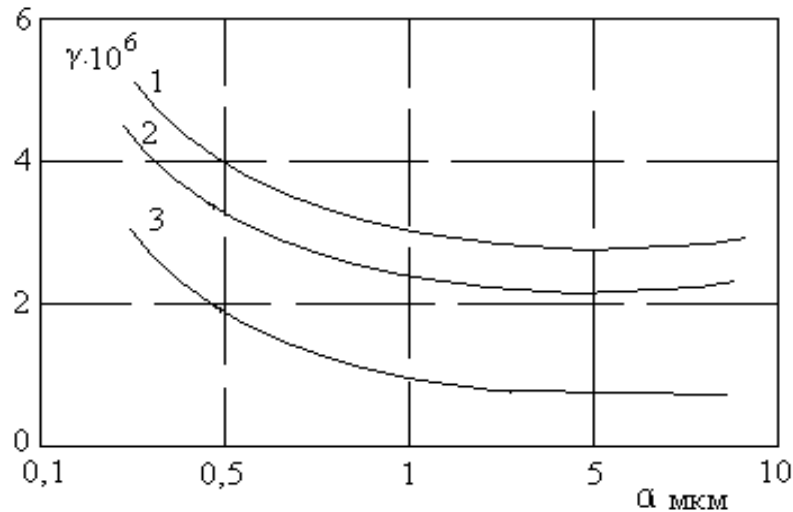
$$\frac{\Delta p}{2\pi\mu v_0} = \frac{\ln K_n}{\gamma(a, \beta)\eta_\Sigma} \quad (5.2)$$

При відомій величині коефіцієнта проникнення K_n перепад тиску на ЗІЗОД буде тим менший, чим більше значення $\gamma(a, \beta)$ та величина сумарного коефіцієнта уловлювання η_Σ змінювати. Експериментальне залежності γ від радіуса волокон a дало змогу встановити її характер. Бачимо, що максимум в цієї

функції відсутній, а найбільше значення γ досягається на границі можливих значень радіуса волокон a (рис. 5.2) [45]. Тому для розрахунку граничної величини радіуса волокон була запропонована нерівність:

$$-\frac{\pi \ln K_n}{2(\beta H)_2} \leq \frac{\eta_\Sigma(a)}{a} \leq -\frac{\pi \ln K_n}{2(\beta H)_1}, \quad (5.3)$$

де $(\beta H)_1$ і $(\beta H)_2$ – границі добутку βH , що визначаються виходячи з технологічних умов на виготовлення та експлуатацію готових виробів з даного фільтруючого матеріалу.



1 – $v = 1$ см/с; 2 – $v = 2$ см/с; 3 – $v = 10$ см/с

Рисунок 5.2 – Залежність $\gamma(a, \beta)$ від радіуса волокон для аерозольних частинок з діаметром $d = 0,3$ мкм; при щільності упакування волокон $\beta = 0,045$ зі швидкістю фільтрації

Верхня границя $(\beta H)_2$ виключає використання волокон великого діаметра, тому що це приведе до збільшення поверхневої щільності і високої вартості матеріалу. Нижня границя $(\beta H)_1$ виключає можливість використання занадто тонких волокон для забезпечення достатньої механічної міцності матеріалу.

Величину βH зручно вибрати виходячи з поверхневої щільності матеріалу за величиною якої здійснюють налагодження устаткування для виготовлення ЗІЗОД. При цьому поверхнева щільність матеріалу і щільність упакування пов'язані між собою [27]:

$$G = \beta \rho_g H, \quad (5.4)$$

де G – поверхнева щільність матеріалу, $\text{г}/\text{м}^2$; ρ_g – питома маса волокон, $\text{г}/\text{м}^3$.

Таким чином, підібравши необхідне значення βH і використовуючи залежність (2.17), розраховуємо радіус волокон фільтруючого матеріалу, який би забезпечив необхідну захисну ефективність.

Розрахунок основних параметрів фільтруючих матеріалів за цією методикою дозволяє з достатньою ймовірністю виготовляти фільтрів із заданими показниками. Однак до недоліків слід віднести:

- відсутність забезпечення необхідної пиломісткості зразків фільтруючого шару (оскільки фільтри респіраторів мають обмежені габарити то підвищення їх пиломісткості не завжди вдається за рахунок збільшення площі фільтрації);
- відсутність врахування умов експлуатації ЗІЗОД (зокрема температури навколишнього середовища).

5.2 Шляхи удосконалення існуючих методів розрахунку параметрів фільтруючих матеріалів

Якщо проаналізувати формули для оцінки перепаду тиску зразка фільтруючого матеріалу та коефіцієнта проникнення то виявляємо спільну частину $4\beta H/a$, що являє собою сумарну поверхню волокон фільтруючого матеріалу. Виходячи з теоретичних досліджень наведених в розділі 2 (проміжний звіт) були розраховані криві залежності коефіцієнту проникнення аерозольних частинок, перепаду тиску зразку поліпропіленового фільтруючого матеріалу та його пиломісткості (для частинок вугільного пилу діаметром 0,3 мкм, швидкість фільтрації 0,01 м/с, площа зразка фільтруючого матеріалу складає 1 м²) від сумарної поверхні його волокон, які наведені на рис. 5.3. Було встановлено зпрощенні рівняння, які показують характер залежності вище згаданих показників від сумарної поверхні волокон та наведено значення коефіцієнтів. Аналізуючи їх приходимо до висновку, що найменші значення коефіцієнта проникнення починаються при $F_v = 35$. Перепад тиску навпаки знижується при зменшенні величини сумарної поверхні волокон. Це стосується і пиломісткості.

Оптимальні значення показників поліпропіленових фільтруючих матеріалів знаходяться між величиною $F_v = 25$ і 35. Її зростання хоча і призведе до покращення захисної ефективності, все ж таки значно збільшить навантаження на систему дихання людини і зменшить термін дії фільтра. Навпаки при зменшенні сумарної поверхні волокон виникне різке збільшення коефіцієнта проникнення.

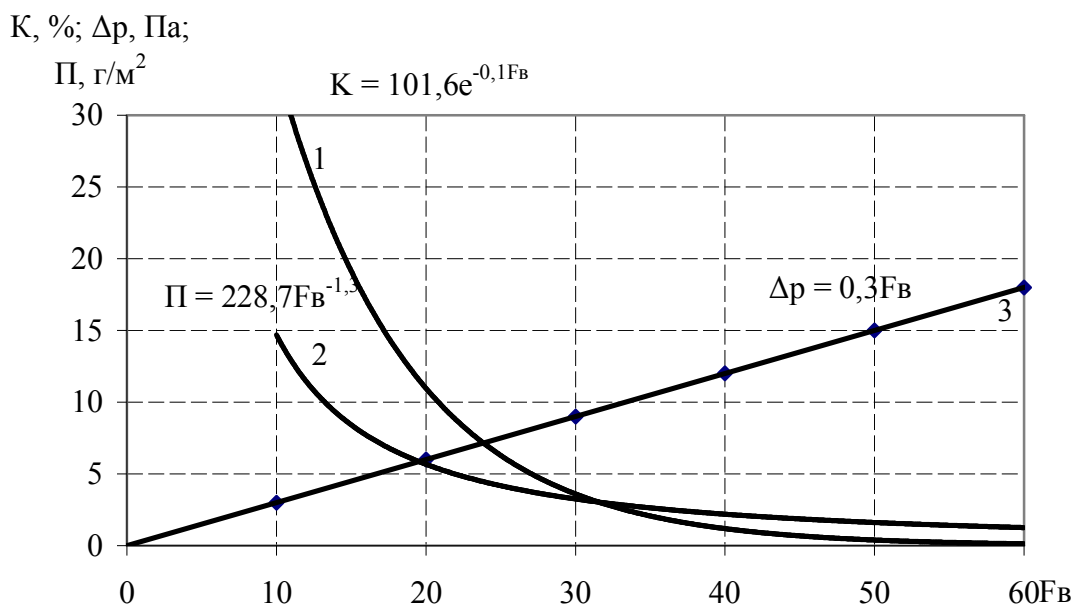


Рисунок 5.3 – Криві залежності коефіцієнту проникнення аерозольних частинок (1), пиломіскості зразку поліпропіленового фільтруючого матеріалу (2) та його перепаду тиску (3) від сумарної поверхні волокон

Таким чином, виходячи з конкретних умов експлуатації беручи до уваги величину дисперсності аерозольних частинок та важкість виконуваних робіт, для кожного конкретного випадку вирішуємо, що являється пріоритетним – чи захисна ефективність (наприклад, якщо частинки є дрібнодисперсними), чи опір диханню (при важкій праці), або термін дії.

Визначившись з діапазоном в якому знаходиться величина сумарної поверхні волокон, приступимо до розрахунку параметрів фільтруючого матеріалу. Для цього скористаємося залежностями основних показників, що характеризують якість фільтруючого шару від діаметра волокон, його товщини та щільності упакування волокон, які наведено в розділі 3.1. Виходячи з оптимальних значень двох вище згаданих параметрів (рис. 3.1 – 3.5), за яких величини коефіцієнту проникнення і перепаду тиску будуть мінімальними, можемо визначити третій за відомим значенням сумарної поверхні волокон. З практики, зручно підібрати товщину фільтруючого шару і щільність упакування волокон, так як за їх значеннями виконується налагодження обладнання для виготовлення фільтрів та ЗІЗОД. Наприклад, для виготовлення той чи іншої конструкції фільтра, яка має певні габарити: установлюють зазори між формуючими кільцями матриці, товщину їх стінок, та висоту, за допомогою яких і задають основні розміри фільтруючого елементу або ЗІЗОД.

Використовуючи фільтри однієї конструкції і габаритних розмірів (вони задаються багатьма чинниками, насамперед величиною огляду півмаски) в різних умовах експлуатації, необхідно забезпечувати і різні параметри фільтруючого матеріалу. Змінюючи товщину матеріалу або щільність упакування волокон в ширшому діапазоні, чим дозволяє устаткування, отримуємо або розрив матеріалу, або низьку якість фільтрів, або неможливість формування матеріалу. Тому найчастіше для забезпечення необхідної якості ЗІЗОД варують тільки розмірами волокон.

Відповідно до рис. 3.1 – 3.5 найкращим є значення щільності упакування в діапазоні від 0,03 до 0,05. Товщина фільтруючого шару задається в діапазоні від 4 – 6 мм. Отже, виходячи з конкретних умов експлуатації майбутнього ЗІЗОД визначаємо оптимальних радіус волокон.

З іншого боку, значення $4\beta H$ можна розрахувати виходячи з відомої пиломіскості фільтруючого матеріалу за формулою

$$\Pi = \frac{(F(\Delta p) - F_B^2) d \rho_n \phi F_0}{4F_B},$$

де $F(\Delta p) = \left\{ \left[\frac{6(\Delta p - \Delta p_0) \pi^2 L}{k_n \rho_n \phi F_0} \right] + F_B^3 \right\}^{2/3}$; Δp – перепад тиску запиленого фільтра, Па (відповідно ДСТУ 12.041-89 приймається 100 Па).

Однак, після розрахунків необхідна обов'язкова перевірка можливості його виготовлення. Якщо після перевірки виявиться, що забезпечити задану

пилومیсткість неможливо, то для її збільшення при незмінній ефективності фільтрації, як було показано в роботі [46], можна застосувати профільні волокна. Як показали теоретичні дослідження різних авторів [43, 47], профіль перетину волокна значно впливає на показники фільтруючого шару. При цьому експериментально було підтверджено, що профільні волокна в порівнянні з круглими мають підвищену ефективність очищення без негативного впливу на величину опору повітряному потоку. Крім того, пилومیсткість зразків із профільних волокон за іншими рівними умовами на 30 % вище, ніж у зразків із круглих волокон.

Підвищити пилومیсткість матеріалів зі звичайними волокнами при збереженні їхньої ефективності фільтрації можливо також і при зміні щільності упакування за товщиною фільтра, що забезпечить розподіл осаду пилу більш рівномірним. Така задача була вирішена в роботі [48]. Однак технологічно виготовити такий матеріал дуже складно, тому застосовують багат шарові фільтруючі матеріали, перші шари яких мають низьку щільність упакування, а нижні – високу, для забезпечення необхідної ефективності фільтрації.

Щоб підтвердити даний висновок, були проведені експериментальні дослідження з накопичення пилу на зразках матеріалу елефлен, які являли собою: у першому випадку – двошаровий матеріал, з нанесеним на нього електростатичним зарядом, у другому випадку – такий же двошаровий матеріал, але зовнішній шар не має електростатичного заряду (елефлен 5СН). Дослідження проводилися відповідно до методики, наведеної в розділі 2.1.4, площа зразків складала 50 см². Результати досліджень розміщено в табл. 5.2. Як видно пилومیсткість фільтруючого матеріалу, у якого зовнішній шар був без заряду, підвищилася на 12...18 %. Пояснюється цей факт тим що у таких зразків відбулося більш рівномірне накопичення пилу за товщиною фільтруючого шару, адже дрібнодисперсна фракція, яка в основному уловлювалась за допомогою електростатичного механізму осідала на внутрішньому шарі. У інших зразків цього не відбувалось (рис. 5.4).

Таблиця 5.2 – Результати дослідження пилومیсткості фільтруючого матеріалу елефлен

Тип фільтруючого матеріалу зразка	Початкова маса, т, г	Початковий перепад тиску на зразку, Па	Кінцевий перепад тиску, Па	Маса пилу, яка осіла на зразку, т, г	Захисна ефективність, %
елефлен	0,455	2,84	100	1,49	99,1
	0,456	2,84		1,38	99,5
	0,455	2,81		1,42	99,2
	0,457	2,81		1,44	99,7
	0,454	2,83		1,47	99,2
елефлен 5СН	0,455	2,85	100	1,69	99,1
	0,454	2,82		1,65	99,1
	0,455	2,81		1,63	99,1

	0,456	2,82		1,71	99,5
	0,456	2,84		1,67	99,2

5.3 Розробка рекомендацій для врахування впливу кліматичних умов на забезпечення високої якості фільтруючих матеріалів

Як було показано в розділі 1: температура повітря робочої зони разом з іншими параметрами навколишнього середовища (вологістю, швидкістю руху повітря, атмосферним тиском) відчутно впливають і на показники ЗІЗОД, і на стан серцево-судинної та дихальної системи, а також терморегуляцію. Тому при виборі ЗІЗОД важливо враховувати кліматичні умови, стан навколишнього середовища, що дозволить ставити важливі завдання працівникам. Дослідження показали, одноразові респіратори протягом зміни при температурі 35 °С значно ускладнюють процес дихання порівняно з температурою 20 °С. Це пояснюється прямо пропорційною залежністю опору дихання від в'язкості газу, яка змінюється під впливом температури. Працюючи, робітник відчуває, як під маскою пітніє обличчя, що й викликає дискомфорт. Наприклад, під час роботи в респіраторах Астра-2 та й РПА-ТД гірники часто скаржаться на інтенсивне скупчення у півмасці вологи, яка згодом потрапляє до фільтрувальних елементів, змочує їх та призводить до швидкого зростання опору дихання через злипання пилових частинок та суміжних гофрів, особливо у фільтрів з марлевою підкладкою. Результат – швидка втома та втрата працездатності (рис. 5.4). Підвищена температура впливає і на захисну ефективність ЗІЗОД: з її зростанням якість респіраторів дещо погіршується (рис. 2.5), адже температура сприяє активності руху аерозольних частинок, що зменшує їх ймовірність уловлювання за допомогою електростатичного ефекту. Однак, знаючи природу залежності захисної ефективності від перепаду тиску на фільтрувальному шарі, можна припустити, що з подальшим зростанням температури коефіцієнт проникнення буде зменшуватися, через збільшення опору фільтрувальних волокон та зростання частки уловлювання частинок за допомогою інших механізмів фільтрації.

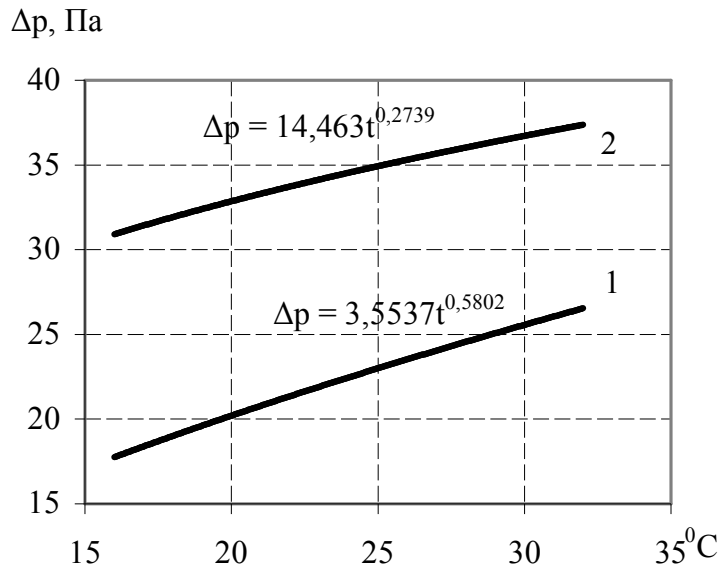


Рисунок 5.4 – Криві залежності перепаду тиску ЗІЗОД від температури навколишнього середовища: 1 – фільтри із елефлена; 2 – фільтри із ФПП 15-1,5

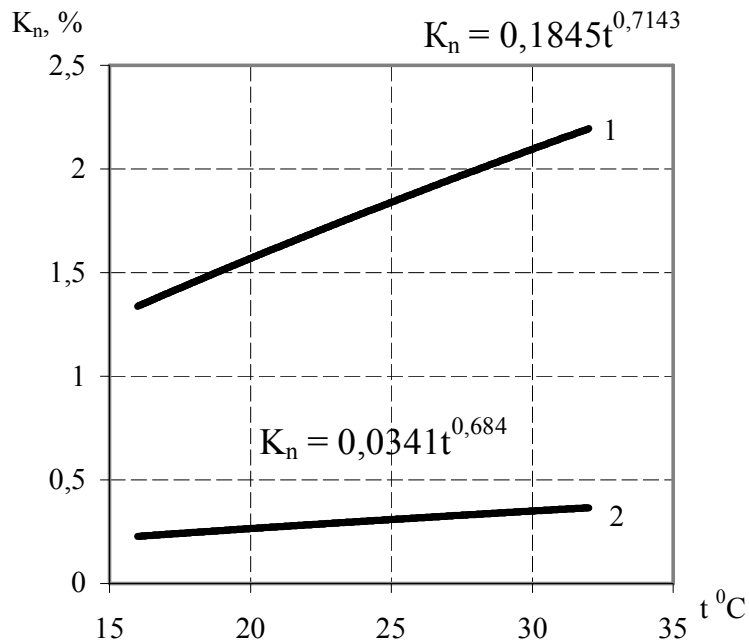


Рисунок 5.5 – Криві залежності коефіцієнта проникнення від температури навколишнього середовища: фільтрів із елефлена (1) і фільтрів із ФПП 15–1,5” (2)

Виникає питання, яке полягає у можливості зменшення впливу температури на основні показники ЗІЗОД. Проаналізувавши експериментальні залежності основних параметрів респіраторів від температури можна прийти до висновку: щоб під впливом підвищеної температури забезпечити не змінну величину перепад тиску на фільтрах, яка визначена за стандартними умовами ($t = 20$ $^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 50$ %; $P = 101,1$ кПа) необхідно змінювати величину сумарної поверхні волокон. Тобто, якщо відомо температура навколишнього середовища де передбачається використання ЗІЗОД, то фільтруючий матеріал до нього можна виготовити з такою сумарною поверхнею волокон щоб перепад тиску не перевищував заданої

величини. Зрозуміло, що зі зниженням температури опір диханню респіратору буде теж зменшуватись. Однак, необхідно перевірити і величину коефіцієнта проникнення оскільки зі зменшенням сумарної поверхні волокон він погіршується. На рис. 5.6 наведено залежність між сумарною поверхнею волокон і температурою для забезпечення незмінних величин перепаду тиску та коефіцієнта проникнення. Вони були отримані за результатами співставлення експериментально одержаних залежностей між перепадом тиску або коефіцієнтом проникнення і сумарною поверхнею волокон (рис. 5.3) та перепадом тиску або коефіцієнтом проникнення і температурою (рис. 5.4 – 5.5).

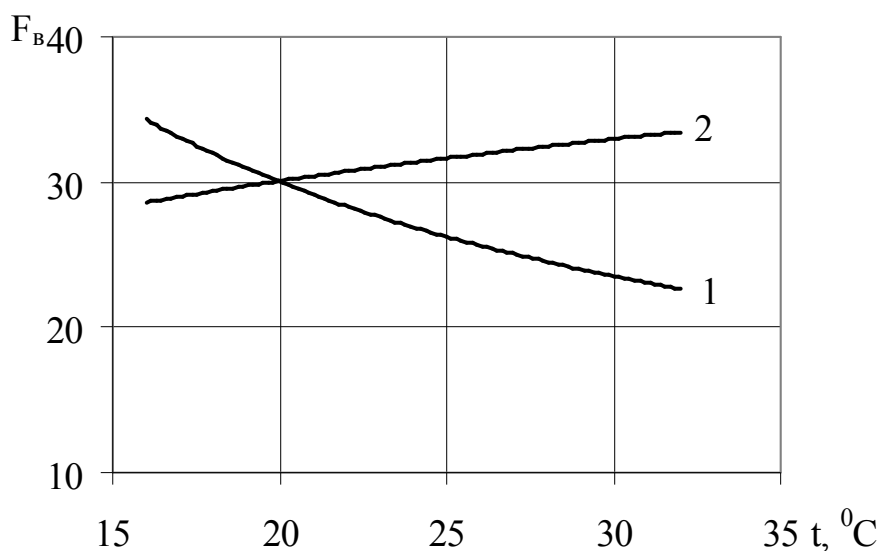


Рисунок 5.6 – Криві залежності сумарної поверхні волокон поліпропіленового матеріалу від температури повітря, яке надходить на нього

З рис. 5.6 бачимо, що для забезпечення незмінного перепаду тиску при збільшенні температури сумарну поверхню волокон потрібно зменшувати, а для стабільності захисної ефективності навпаки збільшувати. Однак, хоча і виникає протиріччя, але межі розбіжностей поверхні волокон для забезпечення якісних показників не великі, тому значних змін в бік погіршення не відбудеться. Хоча необхідно враховувати специфіку роботи кожного конкретного випадку: виходячи із концентрації аерозолу його дисперсності і важкості виконуваних робіт.

Наявність дії вологи на роботу респіраторів показано рис. 5.7. В розділі 1 було показано, що вологе повітря (понад 80 %), проходячи через фільтрувальні елементи підвищує їх опір повітряному потоку. Це пояснюється виникненням в середніх фільтрувальних шарах крапельок рідини.

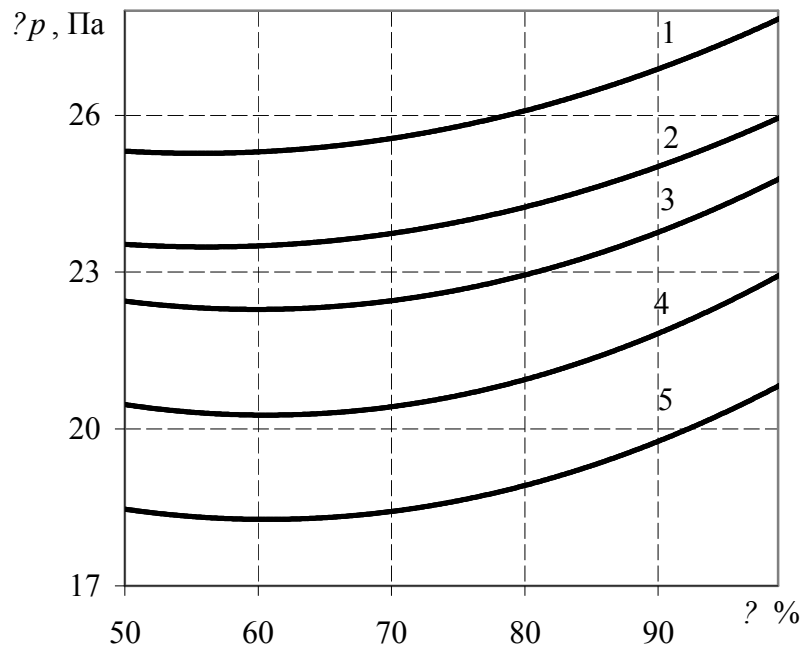


Рисунок 5.7 – Криві залежності перепаду тиску респіраторів від вологості повітря, яке проходить крізь фільтр при різній температурі навколишнього середовища, °С: 1 – 30; 2 – 26; 3 – 24; 4 – 20; 5 – 16

Для зменшення впливу вологи на показники фільтрів також як і у випадку з забезпеченням їх постійних величин при підвищеній температурі, підбираємо відповідну сумарну поверхню волокон. Враховуючи, її не значну відмінність від розрахованої за стандартними умовами, з метою забезпечення незміною величину коефіцієнта проникнення можливе незначне варіювання одночасно значеннями щільністю упакування волокон і товщиною фільтруючого шару. Таким чином, оскільки радіус волокон не змінився, то величина коефіцієнта захвату електростатичного механізму також значно не зміниться.

Отже, для забезпечення величин показників якості ЗІЗОД або фільтрів, які б мали мінімальний вплив на працездатність людини та забезпечили високу захисну ефективність при різних параметрах мікроклімату на робочих місцях необхідно міняти величину сумарної поверхні волокон.

5.4 Дослідження експериментальних зразків поліпропіленових фільтруючих матеріалів

Для перевірки життєздатності вище наведених теоретичних передумов з визначення показників фільтруючих матеріалів виконаємо їх розрахунок для поліпропіленових матеріалів, призначених для СИЗОД першого і другого класу захисту. Тобто встановимо розміри радіуса волокон поліпропіленових фільтруючих матеріалів, що забезпечують коефіцієнт захисту 100 (перший клас захисту) та 75 (другий клас захисту). Частинки вугільного пилу радіусом 0,15 мкм. Припускаємо, швидкість фільтрації становитиме 0,01 м/с, початковий перепад тиску не повинен перевищувати 10 Па для першого випадку і 8 Па для

другого. Пиломіскість повинна складати для першого класу не менш 0,025 г/см², для другого – не менш 0,03 г/см².

З початку визначимо значення сумарної поверхні волокон, яка забезпечить необхідний рівень захисної ефективності. Для цього встановлюємо коефіцієнт проникнення $K_1 = 100/100 = 1$; $K_2 = 100/50 = 2$ та за рис. 5.3 з'ясуємо величину F_B , яка для першого випадку становить 45, а для другого 37. Потім підбравши відповідні величини щільності упакування волокон (наприклад, 0,05) та товщини фільтруючого шару (відповідно 0,00005 м), визначимо $\beta H = 2,5 \cdot 10^{-5}$ і $\beta H_2 = 16$. Останнє, розраховуємо радіус волокон

$$d_1 = \frac{4\beta H}{F_B} = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}}{45} = 2,2 \cdot 10^{-6}, \text{ м}$$

$$d_2 = \frac{4\beta H}{F_B} = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}}{37} = 2,7 \cdot 10^{-6}, \text{ м}$$

Перевіряємо величину пиломіскості

$$F(\Delta p)_1 = \left\{ \left[\frac{6(\Delta p - \Delta p_0)\pi^2 L}{k_n \rho_n \phi F_0} \right] + F_B^3 \right\}^{2/3} =$$

$$= \left\{ \left[\frac{6 \cdot (100 - 13) \cdot 3,14 \cdot 162854,2}{1,1 \cdot 1,3 \cdot 0,7 \cdot 1} \right] + 45^3 \right\}^{2/3} = 28606,8$$

$$\Pi_1 = \frac{(F(\Delta p) - F_B^2) d \rho_n \phi F_0}{4 F_B} = \frac{(28606,8 - 45^2) \cdot 4,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3 \cdot 0,7 \cdot 1}{4 \cdot 45} = 0,054, \text{ г/см}^2$$

$$F(\Delta p)_2 = \left\{ \left[\frac{6(\Delta p - \Delta p_0)\pi^2 L}{k_n \rho_n \phi F_0} \right] + F_B^3 \right\}^{2/3} =$$

$$= \left\{ \left[\frac{6 \cdot (100 - 11) \cdot 3,14 \cdot 162854,2}{1,1 \cdot 1,3 \cdot 0,7 \cdot 1} \right] + 37^3 \right\}^{2/3} = 30987,3$$

$$\Pi_2 = \frac{(F(\Delta p) - F_B^2) d \rho_n \phi F_0}{4 F_B} = \frac{(30987,3 - 37^2) \cdot 4,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3 \cdot 0,7 \cdot 1}{4 \cdot 37} = 0,065, \text{ г/см}^2.$$

Результати розрахунків зведені в таблицю.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунків параметрів поліпропіленових фільтруючих матеріалів

Вихідні дані					Розрахункові дані		
Е, %	Π, г/см ²	Δр, Па	G, г/м ²	η _{сл}	F _в	βH, м	d, м
99,6	0,07	11	45	0,51	37,2	2,5 · 10 ⁻⁵	2,7 · 10 ⁻⁶
99,9	0,05	13	45	0,63	45,1	2,5 · 10 ⁻⁵	2,2 · 10 ⁻⁶

Зразки матеріалів з такою щільністю упакування волокон, товщиною фільтруючого шару та радіусом волокон були виготовлені на підприємстві НВП „Стандарт-2” (м. Дніпропетровськ) та за методиками, які наведені в розділі 2 були визначені їх основні показники (табл. 2.5). Дослідження проводились

Таблиця 2.5 – Результати досліджень експериментальних зразків поліпропіленового фільтруючого матеріалу

Тип зразка матеріалу	Показники якості, що досліджувались		
	Перепад тиску, Па	Пиломісткість, г/см ²	Захисна ефективність, %
1	8,7±0,2	0,054±0,003	99,4±0,05
2	11,6±0,2	0,036±0,002	99,8±0,03

Результати досліджень показали, отримані показники якості фільтруючого матеріалу відповідають початковим. Не значні розбіжності пояснюються тим, що розрахунок проводився виходячи з припущення, що розміри волокон в заданій площі всі однакові. Однак фактично вони є полідисперсними, тоді як розрахунковий діаметр волокон є середнім значенням. В подальшому необхідно уточнити вище наведені залежності з урахуванням полідисперсності волокон.

Таким чином, у даній роботі приведена методика розрахунку параметрів поліпропіленових фільтруючих матеріалів з урахуванням обмежень, що накладаються можливостями технологічного процесу.

5.5 Висновки

1. Виконаний аналіз існуючих методів розрахунку основних показників фільтруючих матеріалів та параметрів фільтруючих елементів, що стосуються переважно голкопробивних фільтруючих матеріалів та спрямованих на забезпечення високоефективного очищення газів при найменшому перепаді тиску на фільтрах. Такий підхід не дозволяє забезпечити необхідну пиломісткість зразків фільтруючого шару з поліпропіленових волокон (оскільки фільтри респіраторів мають обмежені габарити, то підвищення їх пиломісткості не завжди вдається за рахунок збільшення площі фільтрації), а також не враховує умов експлуатації ЗІЗОД, зокрема температури навколишнього середовища, яка, як встановлено, суттєво впливає на полімерні фільтрувальні матеріали). З урахуванням цих недоліків розроблений новий метод розрахунку основних показників поліпропіленових фільтрів, що враховує тип матеріалу та параметри навколишнього середовища.

2. Згідно з запропонованим методом, розрахунок ведеться, виходячи з конкретної дисперсності аерозольних частинок та важкості виконуваних робіт. При цьому визначають, що є пріоритетним – захисна ефективність (наприклад, якщо частинки є дрібнодисперсними), чи опір диханню (при важкій праці), або термін дії. Далі, визначившись з діапазоном, в якому має знаходитися величина сумарної поверхні волокон, визначають якість фільтруючого шару від діаметра

волокон, щільності їх упакування та товщини шару, а виходячи з оптимальних значень захисної ефективності та опору диханню, при яких величини коефіцієнту проникнення і перепаду тиску будуть мінімальними, визначають термін дії за певним значенням сумарної поверхні волокон. Оптимальні значення показників поліпропіленових фільтруючих матеріалів знаходяться при величині сумарної поверхні волокон, віднесеної до одиниці площі фільтру, у межах від 25 до 35 і значеннях щільності упакування від 0,03% до 0,05%, та товщині фільтруючого шару, що задається в діапазоні від 4 до 6 мм, а, виходячи з конкретних умов експлуатації (температури та вологості) майбутнього ЗІЗОД, визначається оптимальних радіус волокон.

3. У випадку, коли розрахунок не забезпечує оптимальних параметрів та необхідної (оптимальної) ефективності фільтрації при заданій пиломісткості запропоновано застосовувати багат шарові фільтруючі матеріали, перші шари яких мають низьку щільність упакування, а нижні – високу. Таке технічне рішення було підтверджено експериментальним випробуваннями з накопичення пилу на зразках матеріалу елефлен з двох шарів.

6 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ФОРМИ І ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ РЕСПІРАТОРА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВИДУ ФІЛЬТРУЮЧОГО МАТЕРІАЛУ

6.1 Обґрунтування методу розрахунку параметрів фільтруючих елементів для їх виготовлення з урахуванням типу фільтруючого матеріалу

У розділі 3 попереднього проміжного звіту було отримано вираз (3.20) для визначення оптимального співвідношення між висотою гофрів і шириною каналу, що утворюють гофри в залежності від типу фільтруючого матеріалу. Оперуючи відомою величиною витрати повітря через фільтр і задаючись висотою фільтра, (обумовлена габаритними розмірами фільтруючої коробки, що визначається з урахуванням забезпечення певного поля зору працівника) за формулою (3.20) можна отримати розміри ширини каналів і відповідно шаг складки, за яких фільтр буде мати найменший опір

$$2T = 2t + H, \quad (6.1)$$

де H – товщина фільтруючого матеріалу, мм.

Розрахунок параметрів фільтруючих елементів з урахуванням типу матеріалу для їх виготовлення обґрунтуємо на прикладі фільтрів до респіратору РПА-ТД, найбільш поширеним у вугільній і гірничорудній промисловості. Задача з визначення параметрів фільтрів до цього респіатора важлива ще й з причини широкого впровадження нових поліпропіленових фільтруючих матеріалів, а також інших, якими виробники намагаються замінити традиційний ФПП. Оскільки кожен тип фільтруючого матеріалу має свої переваги і недоліки, на наш погляд, доцільно їх враховувати при виготовленні фільтрів саме до респіатора РПА-ТД. При цьому слід відмітити, що конструкція фільтрів залишається не змінною, хоча виробники уже деякий час використовують замість ФПП поліпропіленовий

матеріал. Це призводить до неефективного використання робочої поверхні фільтра, малого терміну дії та підвищеного опору дихання.

У табл.6.1 наведено величини шагу складки, які були визначені виходячи з формули (3.17) при витраті повітря 30 л/хв для фільтрів респіратору РПА-ТД, виготовлених з різних матеріалів.

Значення співвідношення між висотою і шагом складки у гофрованих фільтрів з різних матеріалів, при якому забезпечується мінімальна величина їх опору диханню, відрізняються одне від одного. Отже, і їх діаметр буде різним, оскільки його величина залежить від шагу складки і їх кількості

$$2T = \frac{R - r}{n}, \quad (6.2)$$

де R – радіус фільтруючої коробки, мм; r – радіус ковпачка, мм; n – кількість складок фільтра.

Таблиця 6.1 – Основні розміри фільтрів до респіратору РПА-ТД

Матеріал фільтра	Висота фільтра а, h, мм	Поправочний коефіцієнт, k	Товщина заготовк и, мм	Ширина каналу, t, мм	Шаг складки, 2T=2t+h, мм	Співвідношення між висотою і шагом складки
ФПП 15-0,6 на спанбонді	24	10	1,0-1,4	2,4	8,9	2,5:1
Елефлен	24	8	0,8	2,10	7,8	2,9:1
НФП	24	8	0,8	2,10	7,8	2,9:1
Мелтблоун	24	9	0,9	1,9	7,2	3,3:1

Таким чином, для забезпечення оптимальних параметрів фільтруючих елементів з однаковою кількістю складок необхідно виготовляти фільтруючі коробки респіратору різних розмірів. Виходячи з цього, у кожного ЗІЗОД повинний бути конструктивний ряд фільтруючих коробок, які б змогли забезпечити ефективне використання фільтрів з різних фільтруючих матеріалів. Вважаємо недоцільним виготовляти фільтруючі коробки різних розмірів, оскільки це ускладнить їх експлуатації і комплектацію змінними фільтрами та збільшить собівартість респіратору. Отже, необхідно розробити такі конструкції фільтрів, з врахуванням параметрів фільтруючих матеріалів, щоб їх розміри відповідали габаритам однієї фільтруючої коробки єдиного типорозміру.

Прийнявши габаритні розміри фільтруючої коробки (висота і діаметр), які мінімально обмежують коло огляду працюючого в респіраторі, а також визначившись з кількістю гофрів фільтра, визначаємо шаг складки за формулою (3.2).

Далі, розрахуємо робочу висоту складки

$$h_z = \sqrt{h^2 + T^2}. \quad (6.3)$$

Виходячи з формули (6.1), отримаємо ширину каналу гофра t , яка дозволить встановити її співвідношення з висотою складки. Якщо співвідношення відрізнятиметься від визначеного за формулою (3.20) для відповідного фільтруючого матеріалу (див. табл. 6.1), тоді зменшуємо кількість складок і знову повторяємо розрахунок. В протилежному випадку підрачуємо робочу довжину конусної заготовки фільтра за формулою:

$$L_{\phi p} = 2h_z(n + 1), \quad (6.4)$$

тоді загальна довжина дорівнюватиме

$$L_{\text{заг}} = L_{\phi p} + l_1, \quad (6.5)$$

де l_1 – довжина, яка зарезервована для ковпачка розміром 10...15 мм.

Площа фільтруючої заготовки становитиме

$$S_z = \frac{1}{2} PL_{\text{заг}}, \quad (6.6)$$

де $P = P_\phi + 0,2P_\phi$ – довжина основи заготовки, мм; P_ϕ – довжина кола циліндричної фільтруючої коробки.

Відповідно до габаритних розмірів існуючої фільтруючої коробки респіратору РПА-ТД (висота коробки – 24 мм, діаметр – 100 мм), виходячи з вищенаведених формул, були розраховані і виготовлені конусні заготовки для п'яти-, чотири- і трискладчастих фільтрів з фільтруючих матеріалів: ФПП, елефлен, мелтблоун. Основні розміри заготовок фільтрів та їх параметрів наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Параметри дослідних фільтрів до респіратору РПА-ТД

Кількість складок	Висота фільтра, h, мм	Площа заготовки, см ²	Шаг складки, мм	Співвідношення між висотою і шагом складки
6	24	652	6,3	3,8:1
5	24	531	7,6	3,1:1
4	24	409	9,5	2,5:1
3	24	350	12,2	1,9:1

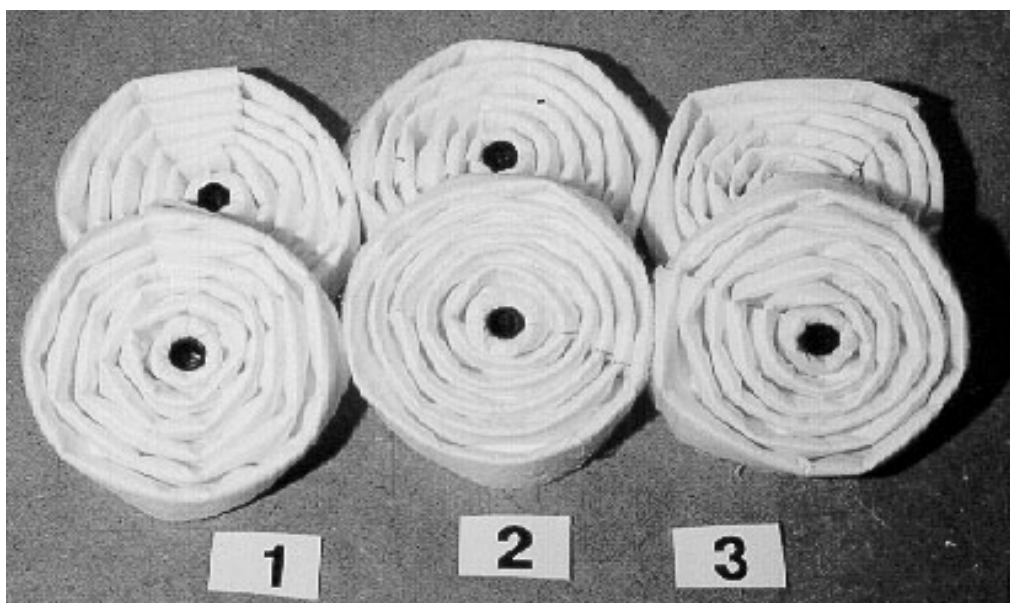
Порівняння величини співвідношення між висотою і шагом складки, які наведені в табл. 6.1 і табл. 6.2, показує, що до респіратору РПА-ТД слід виготовляти з матеріалу мелтблоун – шестискладчасті фільтри, з елефлену – п'ятискладчасті, а з матеріалів ФПП – чотирискладчасті, а для найбільш ефективного використання робочої поверхні фільтрів необхідно виготовити таку фільтруючу коробку, габаритні розміри якої дозволили б отримати оптимальну величину згаданого вище співвідношення.

Для виготовлення дослідних (експериментальних) зразків були розроблені спеціальні формувальні матриці (рис. 6.1), розміри і параметри яких забезпечили формування, тобто виготовлення 5-ти, 4-х і 3-х складчастих фільтрів.



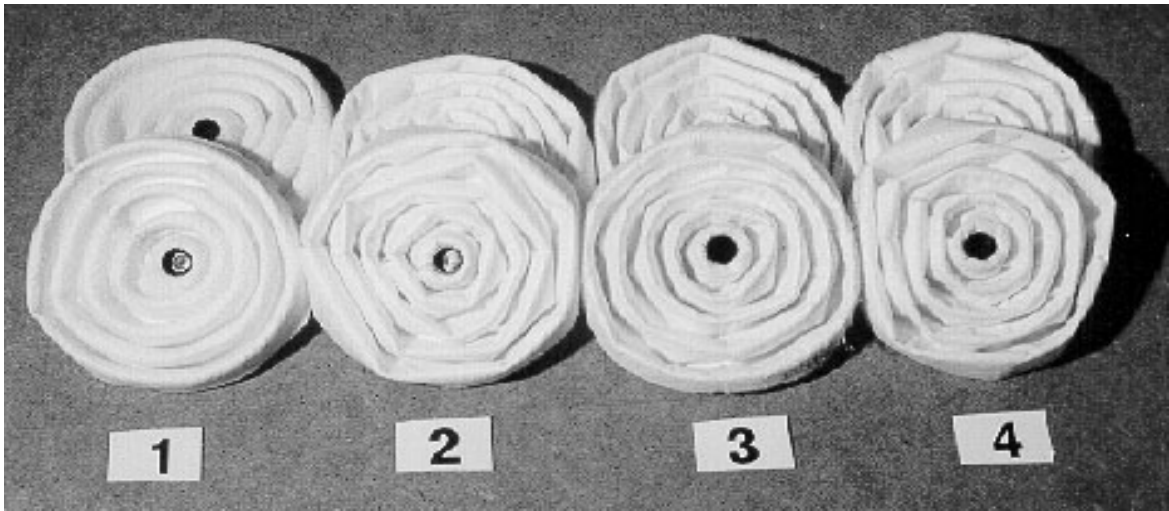
Рисунок 6.1 – Матриці для формування гофрованих фільтрів з конусних заготовок

На рис. 6.2 наведено фотографії виготовлених п'ятискладчастих фільтруючих елементів до респіратору РПА-ТД. Зображення чотирискладчастих фільтрів наведено на рис. 6.3. При цьому для порівняння використовували як поліпропіленові матеріали, так і матеріал типу ФПП 15 – 0,6 з підкладкою спанбонд і марля.



1 – фільтри з ФПП 15-0,6; 2 – фільтри з матеріалу мелтблоун; 3 – фільтри з елефлену

Рисунок 6.2 – П'ятискладчасті фільтри до респіратору РПА



1 – фільтри з ФПП 15-1,15; 2 – фільтри з ФПП 15-0,6; 3 – фільтри з матеріалу мелтблун; 4 – фільтри з елефлену

Рисунок 6.3 – Зразки чотирискладчастих фільтрів до респіратору РПА

6.2 Лабораторні і виробничі дослідження нових фільтруючих елементів

Для оцінки показників експериментальних фільтрів і порівняння їх між собою та існуючою конструкцією, а також перевірки запропонованої моделі роботи фільтра (див. розділ 3) були проведені лабораторні і виробничі дослідження за методиками, наведеними в розділі 2.

Визначались наступні показники: перепад тиску на фільтрі, коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем МТ, маса фільтра і пиломісткість.

На рис. 6.4 наведено результати досліджень перепаду тиску фільтрів з різною кількістю складок, які отримані в результаті обробки експериментальних даних, розміщених у таблицях Г.1 – Г.2 додатка А, та теоретичні криві, отримані з формули (3.18). Аналіз наведених результатів показує, що мінімальний опір мають чотирискладчасті фільтри.

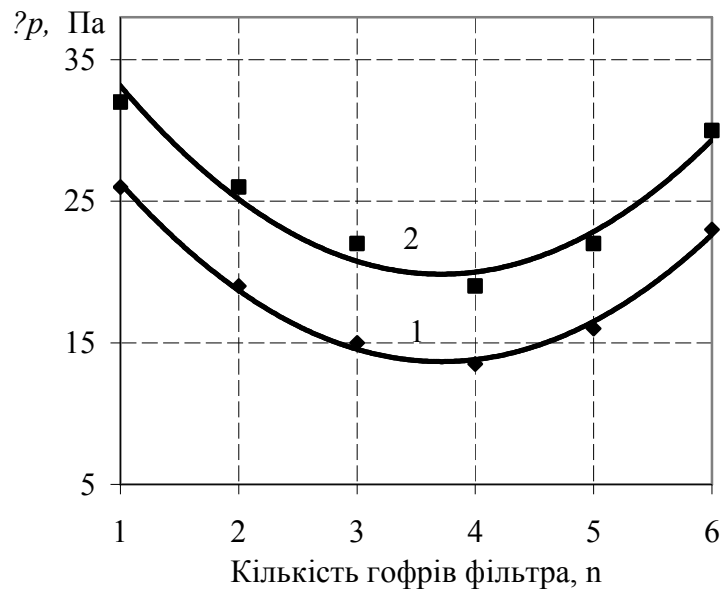


Рисунок 6.4 – Залежність опору від кількості складок у фільтрі

Одним з важливих показників є термін служби фільтрів, що залежить від пиломісткості останнього. Чим пиломісткість більше, тим довше фільтр перебуватиме в експлуатації. Для встановлення конкретної величини пиломісткості проводилися дослідження, суть яких полягала в запиленні зразків фільтруючих елементів кожного типу (досліджувалося по п'ять зразків) до досягнення критичної величини перепаду тиску на фільтрі у 100 Па. Дослідження проводилися на спеціальній установці, опис якої у наведений в розділі 2. Зображення запилених до критичного перепаду тиску фільтрів наведені на рис. 6.5 – 6.7.

Далі визначалося середнє значення пиломісткості, тобто середня маса накопиченого пилю, та встановлювався відносний розкид її значень, що складав не більш 2%. На рис. 6.8 представлена експериментальна залежність середньої пиломісткості від кількості складок фільтра. Отримані результати свідчать, що максимальна кількість пилю накопичується у п'ятискладчастих фільтрах з поліпропіленових матеріалів, та у чотирискладчастих фільтрах з ФПП.

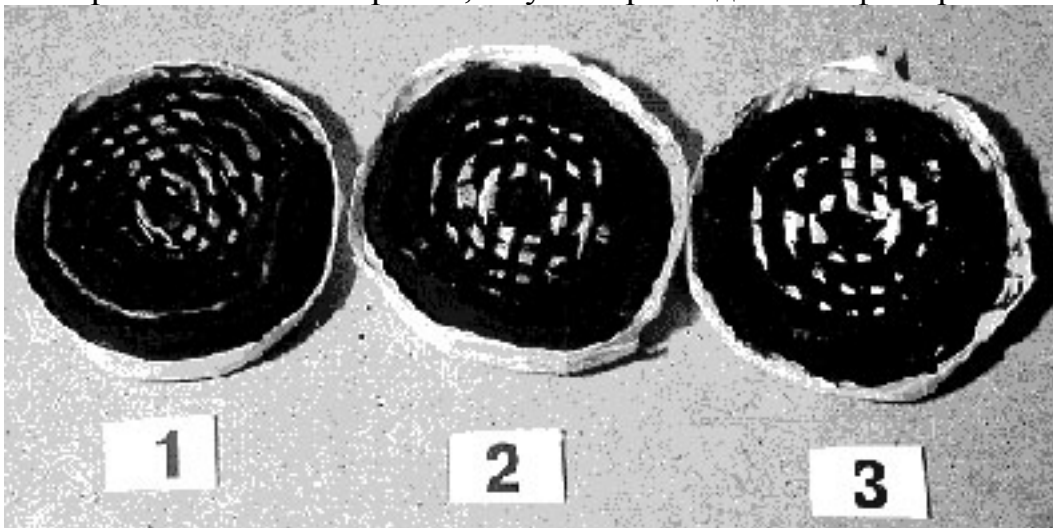


Рисунок 6.5 – Зображення критично заповнених фільтрів з матеріалу елефлен при кількості складок: 1 – шість; 2 – п'ять; 3 – чотири

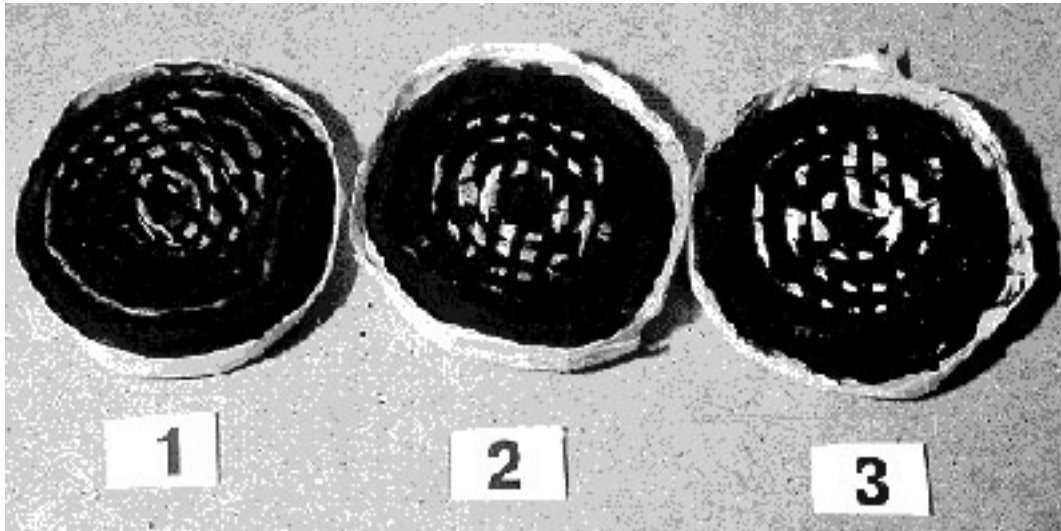


Рисунок 6.6 – Зображення критично заповнених фільтрів з матеріалу мелтблоун з кількістю складок: 1 – шість; 2 – п'ять; 3 – чотири

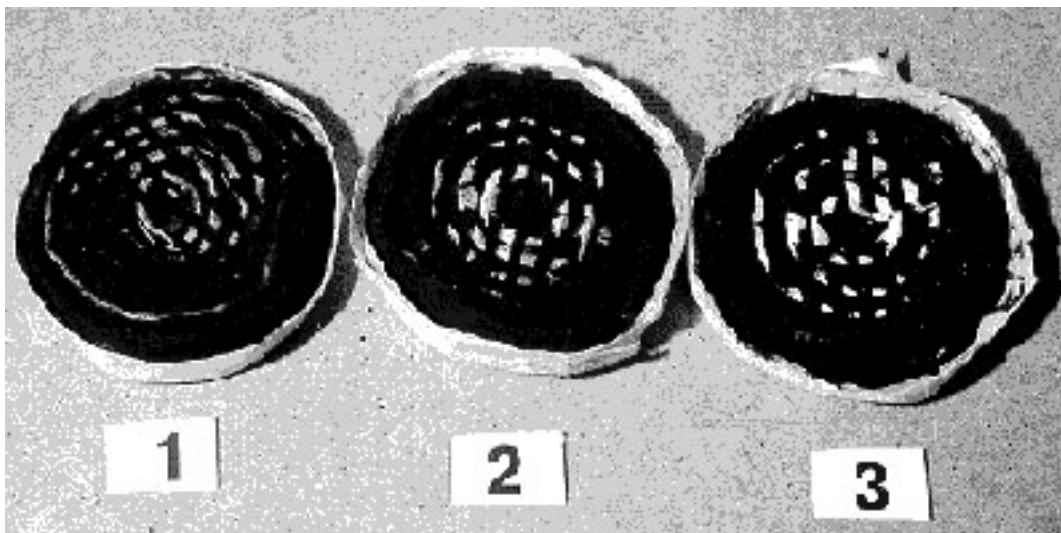
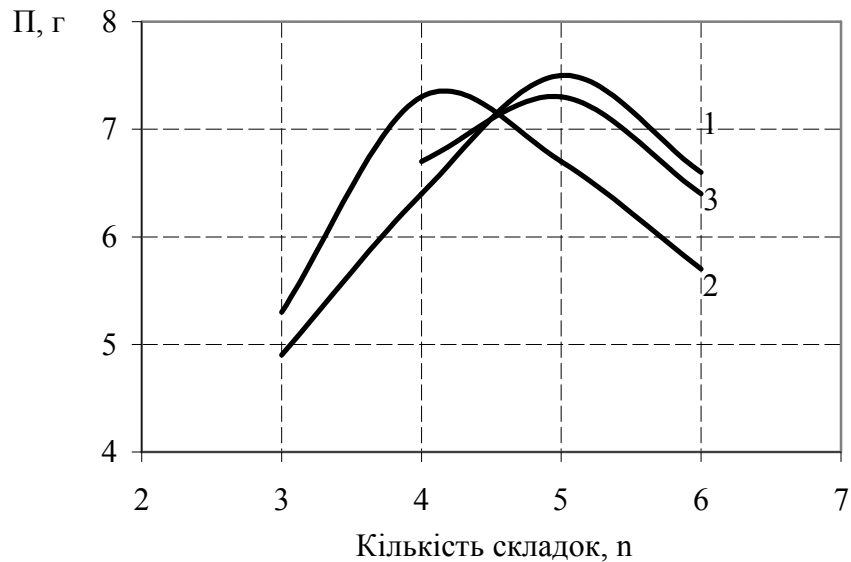


Рисунок 6.7 – Зображення критично заповнених фільтрів з ФПП 15-0,6 на спанбонді з кількістю складок: 1 – шість; 2 – п'ять; 3 – чотири



1 – елефлен; 2 – ФПП15-0,6; 3 – мелтблоун

Рисунок 6.8 – Залежності піломісткості фільтрів з різних матеріалів, що встановлюється в коробці респіраторів РПА-ТД, від кількості складок

Проведені дослідження також підтвердили раніше зроблене припущення відносно того, що зі збільшенням товщини фільтруючого матеріалу величина співвідношення між висотою і шагом складки збільшується. Це призводить до зменшення кількості гофрів при незмінному діаметрі фільтра. Так, найбільш тонким є елефлен (табл. 6.3), тому з цього матеріалу найкращі показники мають фільтри з п'ятьма складками при відстані між ними – 7,6 мм. Порівняно товщі заготовки з матеріалу ФПП забезпечують максимальну піломісткість при чотирьохскладчастому фільтрі з шагом складки 9,5 мм.

Таблиця 6.3 – Товщини заготовок фільтруючих матеріалів до фільтра респіратора РПА-ТД

Додатковий шар	Товщина заготовки з ФПП 15-0,6 на марлі, мм	Товщина заготовки ФПП 15-0,6 на спанбонді, мм	Товщина заготовки з елефлену, мм
-	0,6	0,4	0,8
марля апретована	0,9	0,7	-
спанбонд	0,8-0,9	0,5-0,7	-

П'ятискладчасті поліпропіленові фільтри мають найбільшу величину піломісткості. Обумовлено це наступними факторами. По-перше, – площа їх фільтрації виявилася на 30% більша ніж у фільтрів з матеріалу ФПП з чотирма складками. По-друге, – поліпропіленові шестискладчасті фільтри хоча і мають більшу поверхню фільтрації, але використовується ця поверхня не достатньо ефективно, оскільки злипання суміжних складок у нижній частині фільтра

виключає певну частину його робочої площі з процесу фільтрації. Про це свідчить наявність білих плям на розгортці фільтра з шести складками, розташованих біля лінії вигину гофрів (рис. 2.9). Для порівняння на тому ж рисунку наведена розгортка п'ятискладчастого фільтра на якій шар пилу виглядає практично рівномірним.

Той факт, що у поліпропіленових фільтрів з чотирма гофрами накопичилось менше пилу, ніж в аналогічних фільтрах з ФПП, пояснюється тим, що останні для забезпечення необхідної жорсткості мають декілька шарів з різних матеріалів (зовнішній шар зі спанбонду, саме шар з ФПП, і внутрішній, основа якого – теж спанбонд). Попередній аналіз щодо збільшення пиломісткості показав, що додаткові шари з меншою поверхневою щільністю призводять до збільшення кількості накопиченого пилу 15 – 40 %. Отже, враховуючи те, що зовнішній шар у фільтрів з ФПП – це спанбонд з термоскріплених лавсанових та поліамідних волокон діаметром 7 – 8 мкм із поверхневою щільністю близько 40 г/м², можемо говорити про збільшення пиломісткості за рахунок більш рівномірного розподілу пилу за товщиною такого фільтра.

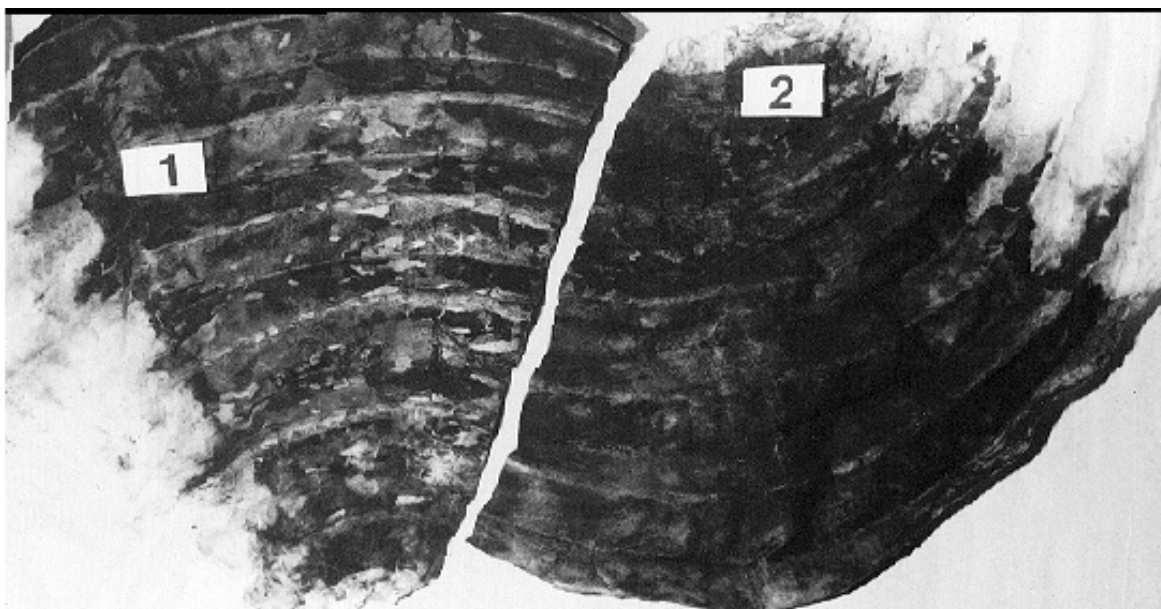


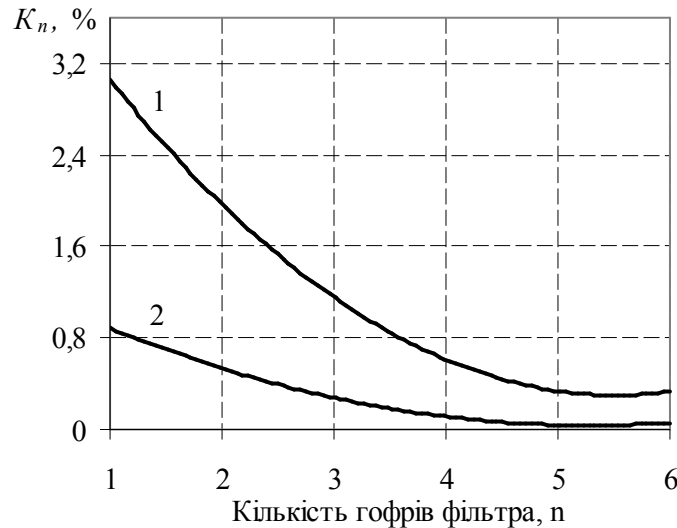
Рисунок 6.9 – Розгортки фільтрів: 1 – шестискладчастого; 2 – п'ятискладчастого

Таким чином, приходимо до висновку відносно необхідності забезпечення такого зазору між суміжними гофрами, який би виключив змикання останніх. Очевидно існує мінімальна величина цього зазору, яка і забезпечить оптимальні показники фільтра. Подальше збільшення зазору не доцільно, оскільки зросте перепад тиску на фільтрі із-за зменшення площі фільтрації (див. рис. 6.3).

У випадку, коли відомі габаритні розміри фільтруючої коробки до респіратора РПА (висота, діаметр), збільшення згаданого вище зазору, а отже, і шагу складки можна досягти тільки шляхом зменшення площі заготовки. Проте до певної величини, оскільки зі зменшенням площі зросте швидкість фільтрації, отже збільшиться коефіцієнт проникнення тест-аерозолю. Таким чином, виникає необхідність перевірки коефіцієнту проникнення для різних типів фільтрів, з

метою встановлення відповідності класу захисту. Якщо коефіцієнт буде більше встановленого ДСТУ, тобто більше нормативного, то від такої конструкції фільтра необхідно відмовитися, або віднести її до більш низького класу захисту.

Перевірка проводилася за методикою, наведеною в розділі 2 Отримані результати представлені в додатку Б, а виявлені залежності на рис 6.10.



1 – фільтри з елефлену; 2 – фільтри з ФПП 15 – 1,5

Рисунок 6.10 – Залежність коефіцієнта проникнення тест-аерозолі від кількості гофрів для фільтрів, що розміщувалися в коробці респіратора РПА-ТД

Як бачимо, величини коефіцієнтів проникнення п'ятискладчастих і шестискладчастих фільтрів майже однакові і знаходяться в допустимому діапазоні, згідно ДСТУ 12.041-89 до 1,0 %. Входить, у фільтрів з п'ятьма складками швидкість повітря більш рівномірно розподілена за висотою гофри, що видно з рис. 6.11, у той час як у шестискладчастого фільтра внаслідок злипання складок у фільтрації бере участь тільки верхня їх частина.

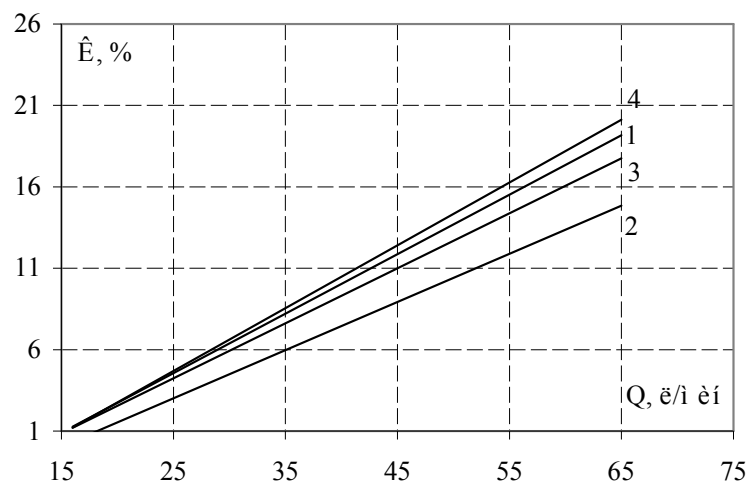


Рисунок 6.11 – Залежність коефіцієнта проникнення тест-аерозолі від витрати повітря для фільтрів з: шістьма гофрами (1), п'ятьма гофрами (4); та негофрованих заготовок до шестискладчастого (2), п'ятискладчастого (3)

У таблицях 6.4, 6.5 наведено результати дослідів з визначення основних параметрів фільтруючих елементів, виготовлених з поліпропіленового матеріалу елефлен, а також із ФПП 15-0,6, з різною кількістю складок

Необхідно відзначити, що для визначення коефіцієнта ефективності використання фільтруючого матеріалу застосовувалися дані (пиломісткість шайби фільтруючого матеріалу з площею 50 см² і питома пиломісткість шайби при швидкості фільтрації 1 см/с), які були указані в табл. 3.1.

Наведені результати досліджень показують, що для респіраторів РПА-ТД можна використовувати як п'ятискладчасті фільтри з поліпропіленового матеріалу, так і чотирьохскладчасті фільтри – з ФПП на спанбонді, оскільки вони мають найкращі за ефективністю.

Отже, лабораторні випробування розроблених конструкцій фільтрів до респіратору РПА-ТД підтвердили теоретичну модель фільтрації аерозольних частинок, яка дозволяє отримати оптимальні параметри виходячи з властивостей фільтруючих матеріалів.

Таблиця 6.4 – Експериментальні показники фільтрів з матеріалу елефлен

Обумовлені показники	Значення показників				
	Вимоги за ДСТУ 12.4.041-89	АКТИЧНО ОТРИМАНІ ДЛЯ ФІЛЬТРА З			
		шістьма складками	п'ятьма складками	чотирма складками	трьома складками
Маса, г		5,9±0,3	4,9±0,28	4,5±0,21	3,5
Площа фільтра, S, см ²		620	530	410	300
Початковий перепад тиску, Па при витраті повітря 15 л/хв,	не більш 60 Па	21,9 ± 2,5	16,6 ± 1,4	12,9 ± 1,1	14,8± 1,4
Коефіцієнт проникнення тест-аерозолю МТ з частинками 0,28-0,34 мкм, K, %	Для другого ступеня захисту 0,1 <K< 1,0	0,229 ±0,05	0,547 ±0,01	0,625 ±0,02	1,7±0,03
Пиломісткість фільтра за вугільним пилом, г	-	6,6 ± 0,15	7,5 ± 0,26	6,3 ± 0,14	4,9±0,13
Питома пиломісткість фільтра за вугільним пилом, мг/див ²	-	13,2	16,6	16,5	16,9

Коефіцієнт ефективності фільтруючого матеріалу $\eta = \frac{P_{y\phi}^{\phi}}{P_{y\phi}^u}$	0,71	0,91	0,9	0,89
--	------	------	-----	------

Таблиця 6.5 – Результати випробувань фільтрів із ФПП 15-0,6 на спанбонді

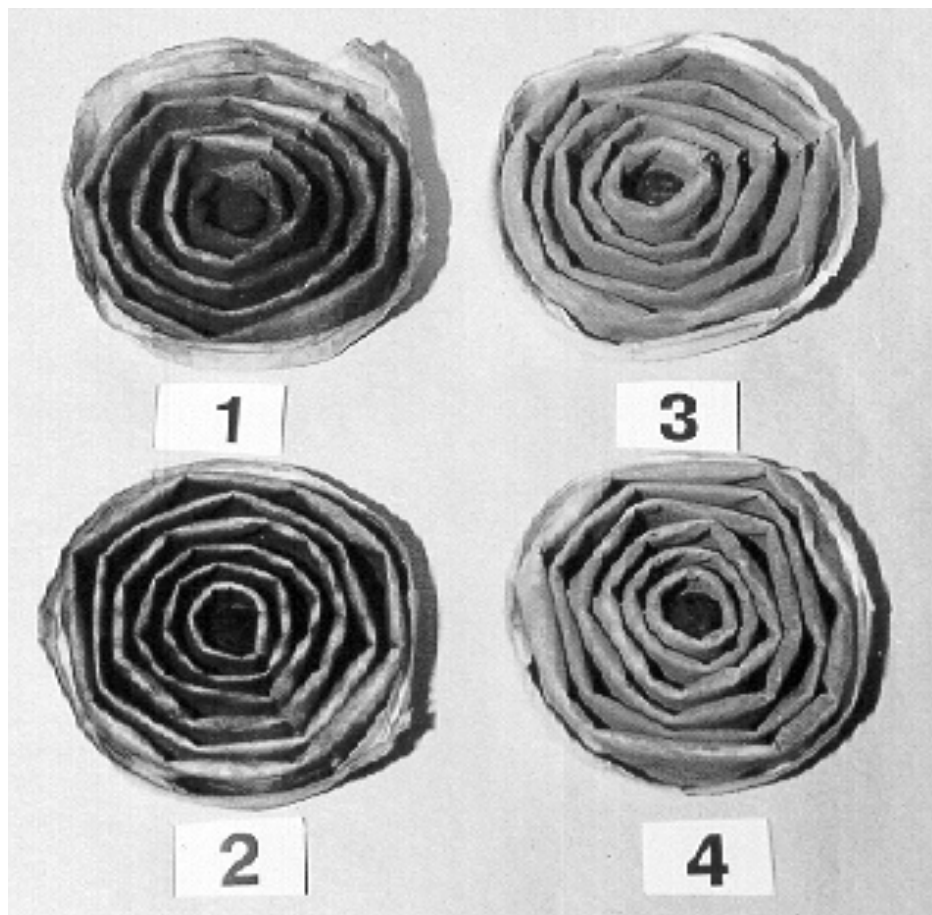
Обумовлені показники	Вимоги за ДСТУ 12.4.041-89	АКТИЧНО ОТРИМАНІ ДЛЯ ФІЛЬТРА 3			
		шістьма складками	п'ятьма складками	чотирма складками	трьома складками
Початковий перепад тиску, Па з витратою повітря 15 л/хв,	не більш 60 Па	31,0± 2,0	23,4±1,1	19,2±1,1	20,1±0,3
Коефіцієнт проникнення тест-аерозолу МТ з частками 0,28-0,34 мкм, К, %	Для першого класу захисту К < 0,1	0,06 ±0,004	0,07 ±0,001	0,07 ±0,003	-
Пиломісткість фільтра за вугільним пилом, г	-	5,7±0,2	6,7±0,15	7,3±0,14	5,3±0,21
Питома пиломісткість фільтра за вугільним пилом, мг/див ²	-	11,4	14,8	19,2	17,6
Коефіцієнт ефективності використання фільтруючого матеріалу		0,47	0,64	0,83	0,77

З метою якісної оцінки експериментальних зразків фільтрів з поліпропіленових фільтруючих матеріалів додатково до лабораторних досліджень були проведені і виробничі. Визначали початковий і кінцевий (після експлуатації) перепад тиску фільтрів і пиломісткість. Випробування проводилися за методикою, аналогічною описаній в розділі 1. При цьому для забезпечення однакових умов експлуатації в один респіратор установлювалися два різних типи фільтрів. Таким шляхом було випробувано більше сорока фільтруючих елементів.

Експлуатація фільтрів проводилася в умовах очисних і підготовчих дільниць шахт “Героїв Космосу” і “Павлоградская” ГКХ “Павлоградуголь”.

На рис. 6.12 показаний зовнішній вигляд фільтрів після експлуатації в шахтах; фільтри 1 і 2 застосовувалися в очисному вибої, а 3 і 4 – у підготовчому.

Результати виробничих випробовувань фільтрів, після статистичної обробки параметрів, наведено в табл. 6.6. Слід зазначити, що гірники дали позитивну якісну оцінку експериментальним фільтрам, указавши, що в них легше дихати при більшому, ніж у традиційних фільтрів, терміні служби



1, 3 – чотирьохскладчасті; 2, 4 – п'ятискладчасті;

Рисунок 6.12 – Фільтри з елефлену після використання у виробничих умовах шахт

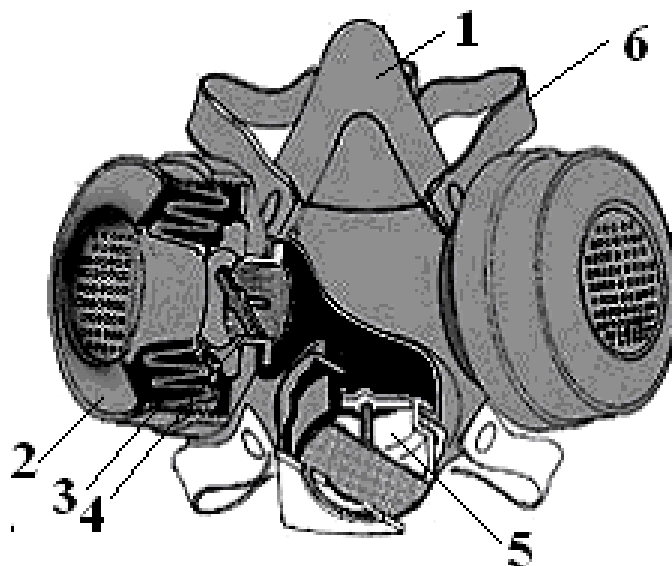
Таблиця 6.6 – Результати виробничих іспитів експериментальних фільтрів до РПА-ТД

Обумовлені показники	Значення показників фільтрів з елефлену	
	П'ять складок	Чотири складки
Початковий перепад тиску, Па з витратою повітря через фільтруючий елемент 15 л/хв,	$16,6 \pm 1,4$	$12,9 \pm 1,1$
Маса пилу, накопиченої на фільтрі, м,	$1,21 \pm 0,09$	$1,18 \pm 0,11$

М		
Перепад тиску на запиленому фільтрі, Па з витратою повітря 15 л/хв,	28,3 ± 0,8	21,1 ± 0,7

6.3 Перспективи подальшого розвитку конструкцій фільтруючих елементів до респіратору РПА-ТД

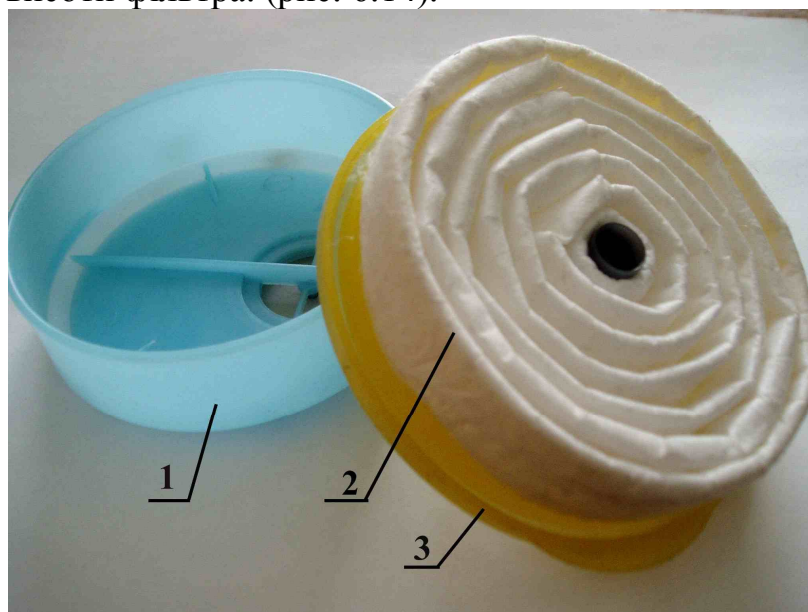
Для забезпечення захисту органів дихання від потрапляння шкідливих аерозолів використовуються багаторазові респіратори. Вони характеризуються наявністю еластичної півмаски з оголів'ям та однією або двома фільтрувальними коробками з розташованим змінним фільтром (рис. 6.13).



1 – півмаска з еластичного матеріалу; 2 – фільтрувальна коробка; 3 – фільтр;
4 – клапан вдиху; 5 – клапан видиху; 6 – оголів'я

Рисунок 6.13 – Патронний респіратор

Майже у всіх типів вітчизняних респіраторів однакова конструкція фільтра, що являє собою гофрований циліндр, виготовлений з усіченого конуса. Різняться тільки діаметри та висоти фільтра. (рис. 6.14).



1 – корпус фільтрувальної коробки; 2 – фільтрувальний елемент; 3 – кришка фільтрувальної коробки

Рисунок 6.14 – Фільтр респіратора типу КЗГ

Така конструкція з'явилась ще на початку 60-х років минулого сторіччя [49]. Її автори Шатських, Квитко та Кобилкін мали за мету забезпечити велику площу фільтрації в обмеженому об'ємі фільтрувальної коробки. Форма фільтра забезпечувалась навіть при малій механічній жорсткості матеріалів ФП (фільтри Петрянова), які раніше широко впроваджувалися для виготовлення засобів індивідуального захисту органів дихання. Вони мали кращі показники якості у порівнянні з іншими. Однак, суттєвим недоліком розглянутих фільтрів, на який в ті часи не звертали уваги, є значні відходи матеріалу при викроюванні конусних заготовок. А з появою нових фільтрувальних матеріалів (поліпропіленові НФП, елефлен, МФП, мелтблоун та інші) обрізки стали суттєвою проблемою в плані утилізації, оскільки для них не знайшли сфери застосування. Більше того, виникли передумови неефективного використання робочої поверхні фільтра внаслідок змикання суміжних складок, яку спричинила суттєва різниця між технічними параметрами різних фільтрувальних матеріалів. Тому виникла задача в розробці нової або удосконаленні відомої конструкції фільтрувального елемента для поліпропіленових волокон, який би був технологічним у виробництві і забезпечував високу захисну ефективність та прийнятний термін дії.

Існують конструкції негофрованих багатошарових фільтрів (рис. 6.15), фільтрувальні шари в яких відрізняються між собою поверхневою щільністю: перший (з найменшою) слугує для вилучення грубих аерозольних частинок, а останній (з найбільшою) уловлює дрібнодисперсні пилові частинки. Для поглинання вологи інколи виробники додають шар спеціального матеріалу, чим досягається порівняно висока пиломісткість. Суттєвий недолік – малий строк служби. Особливо в умовах високої запиленості, якими характеризуються гірничі підприємства.

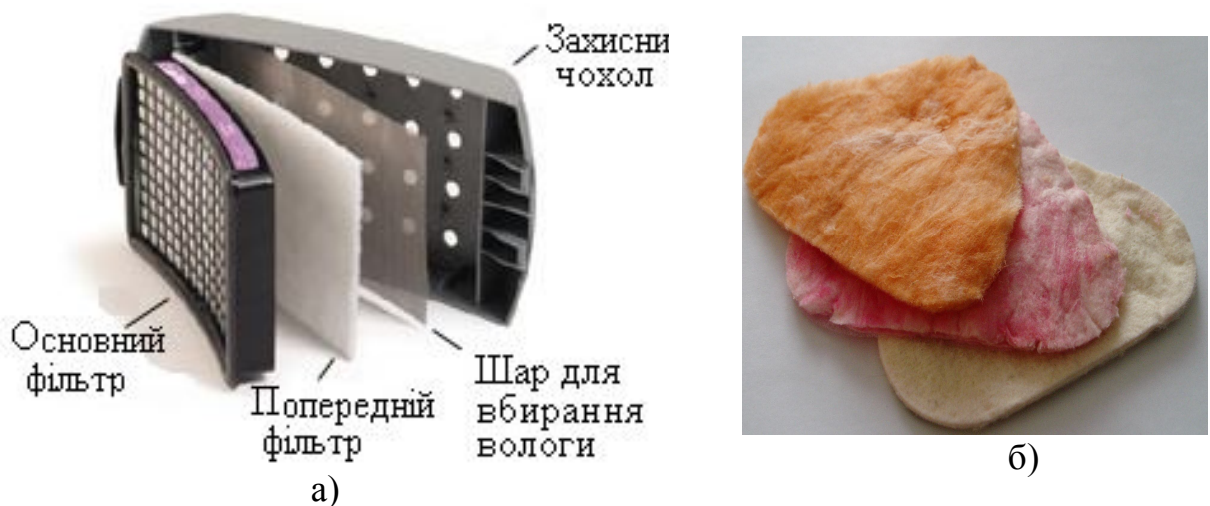
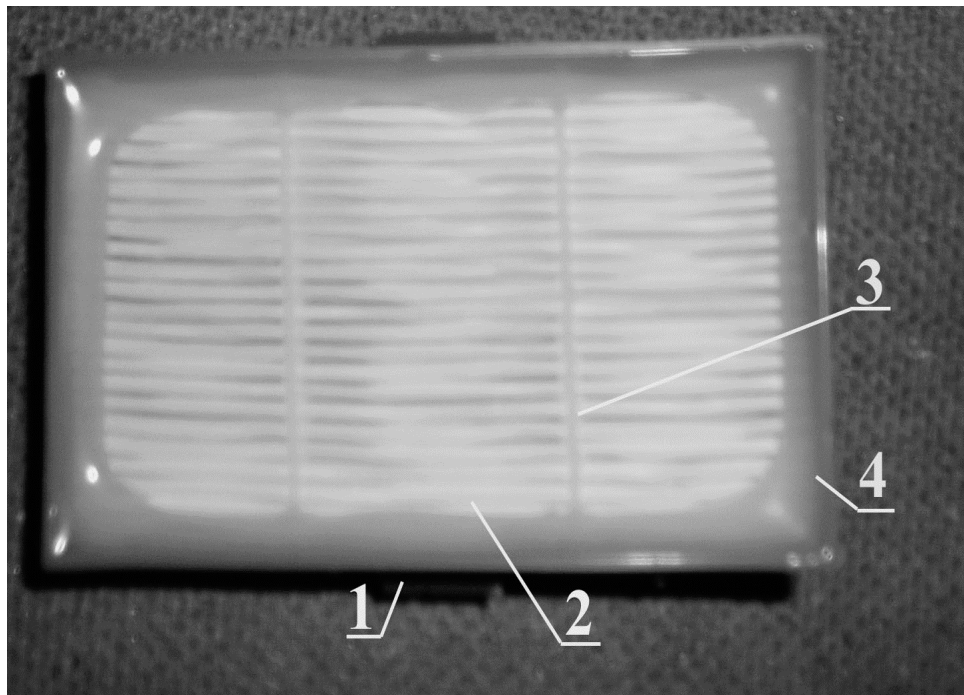


Рисунок 6.15 – Конструкція не гофрованих фільтрів: а – стільниковий; б – простий не гофрований з шарами фільтрувального матеріалу різної щільності

Деякі виробники ЗІЗОД виготовляють фільтри, гофровані в одній площині. Так, у корпусі 1 на рис. 6.16 вміщено гофрований фільтрувальний матеріал 2. Щоб суміжні складки не злипалися, між ними прокладають паперові сепаратори

3, які наклеюють на поверхню фільтрувального шару. Фільтр герметизують у корпусі спеціальною сумішшю 4 (герметиком). Прямокутна конструкція дуже економна і не має відходів фільтрувального матеріалу. Основним недоліком такого фільтрувального елемента є незначний строк служби при високій запиленості повітря, що обмежує його застосування у підземних виробках.



1 – корпус; 2 – фільтр; 3 – сепаратор; 4 – герметик

Рисунок 6.16 – Фільтрувальні елементи, гофровані в одній площині

Перспективами розвитку конструкцій фільтрувальних елементів до багаторазових респіраторів є подальше удосконалення відомих конструкцій з метою мінімізації відходів виробництва та забезпечення порівняно великого строку служби. Однак і розробка плаского фільтра великої пиломісткості також є актуальним напрямом у розвитку ЗІЗОД.

Зупинимось на удосконаленні фільтра гофрованого в одній площині. За прототип візьмемо прямокутну фільтрувальну коробку до респіратора ПРШ-2. Основні її розміри відповідно: висота 20 мм, ширина 40 мм та довжина 100 мм. Фільтрувальний елемент виготовимо із поліпропіленового матеріалу елефлен. Заготовка фільтра багатошарова – зовнішній шар з грубих волокон, а останній з більш тонких для забезпечення необхідної захисної ефективності. Обидва краї заготовки за шириною з внутрішньої сторони проклеїні невеликою паперовою смужкою для забезпечення форми гофрування. Кількість гофр визначалась із співвідношення між висотою фільтра і оптимальною відстанню між сусідніми гофрами в залежності від властивостей фільтрувального матеріалу, яке забезпечує найкращі основні показники якості готових виробів. Вплив гофрування на процес фільтрації аерозольних часток було розкрито в попередніх розділах. Враховуючи

наведені рекомендації було виготовлено прямокутний поліпропіленовий фільтр, який був оброблений спеціальною сумішшю для забезпечення герметизації за периметром фільтрувальної коробки (рис. 6.17).



Рисунок 6.17 – Фільтрувальний елемент до респіратору РПА-ТД

Якість експериментальних фільтрів установлювалась на відповідність ДСТУ EN 143:2003 „ЗІЗОД, протиаерозольні фільтри. Вимоги. Випробування. Маркування” за показниками: коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем парафінової оливи, опір дихання з витратою повітря 30 л/хв та 95 л/хв, пиломісткість. Випробовування проводились у спеціалізованій лабораторії технічної експертизи засобів колективного і індивідуального захисту органів дихання ПМТЗ „Спецнаб” (сертифікат акредитації від)

Відповідно до вимог чинних нормативних актів, перед іспитами попередню проводили підготовку випробувальних зразків, яка полягає в тому, що одна серія зразків спочатку піддається температурному впливу в спеціальній барокамері (добова витримка, тобто 24 години, при 70 °С, потім чотири години перерва знову і такої ж тривалості –30 °С). Друга серія зразків проходить випробування на механічну міцність. Результати досліджень зведені в табл.6.7.

Для порівняння в ній також наведені значення основних показників фільтрувальних елементів до респіратору РПА-ТД типу гофрованого циліндру, показники яких випробували за наведеними вище методиками.

Таблиця 6.7 – Основні характеристики плоских фільтрувальних елементів

Показники	Вимоги ДСТУ EN 143- 2002	Фактичні значення фільтрів до респіратору РПА-ТД	
		типу КЗГ	експериментальні
Коефіцієнт проникнення за тест аерозолем парафінове масло, %	Для класу захисту РЗ $K_n = 0,5$	0,01	0,05
Коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем масляний туман, %	Для першого класу захисту К $> 0,1$	0,05	0,1
Опір диханню зі швидкістю повітряного потоку 30 л/хв, Па	Для класу захисту РЗ $\Delta p = 100$	25	40
Опір диханню зі швидкістю повітряного потоку 95 л/хв, Па	Для класу захисту РЗ $\Delta p = 300$	135	123
Пиломісткість фільтра при запиленості $C = 300$ мг/м ³ , г		7,5	7,0

6.4 Висновки

1. Обґрунтовано метод розрахунку параметрів фільтруючих елементів для їх наступного виготовлення з урахуванням типів фільтруючих матеріалів, серед яких: ФПП, елефлен, мелтблоун. Для забезпечення оптимальних параметрів фільтруючих елементів, зокрема максимального терміну дії при мінімальному опорі диханню, обґрунтовано значення співвідношення між висотою і шагом складки у гофрованих фільтрів з різних матеріалів, що при певних габаритних розмірах коробки відбивається на числі складок конусної заготовки, з якої формується фільтр.

2. Відповідно до запропонованих розрахунків виготовлені експериментальні зразки фільтруючих елементів до респіратору РПА з зазначених вище фільтруючих матеріалів. Для їх виготовлення були розроблені спеціальні формувальні матриці, розміри і параметри яких забезпечили виготовлення 5-ти, 4-и і 3-и складчастих фільтрів. Експериментальне підтвердження обґрунтованого методу отримано під час випробувань виготовлених зразків на лабораторних стендах і у виробничих умовах.

3. Встановлено, що до респіратору РПА-ТД слід виготовляти: з матеріалу мелтблоун – шестискладчасті фільтри, з елефлену – п'ятискладчасті, а з

матеріалів ФПП – чотирихскладчасті, які забезпечують певне наближення до оптимуму, хоча для найбільш ефективного використання робочої поверхні фільтрів необхідно міняти габаритні розміри фільтруючої коробки. Максимальна кількість пилу накопичується у п'ятихскладчастих фільтрах з поліпропіленових матеріалів, та у чотирискладчастих фільтрах з ФПП. Останні мають тришарову структуру.

4. Досліджений гофрований фільтрувальний матеріал, у якому для запобігання злипанню суміжних складок прокладають паперові сепаратори, які наклеюють на поверхню фільтрувального шару. Суттєвим недоліком відомих конструкцій – малий термін служби, особливо в умовах високої запиленості, якими характеризуються гірничі підприємства, зокрема підземні виробки вугільних шахт.

5. Проведено удосконалення гофрованого в одній площині фільтра. Метод розрахунку адаптувався для прямокутної фільтрувальної коробки до респіратора ПРШ-2 з висотою 20 мм, шириною 40 мм та довжиною 100 мм.

6. В результаті випробувань різних варіантів фільтрів за запропонованим методом розрахунку показано, що виконання зовнішнього шару з поліпропіленового матеріалу з діаметром волокон 5-8 мкм, а внутрішнього 1-4 мкм збільшує пиломісткість фільтра, виготовленого з цього матеріалу, на 18...20%. Виявлено також, що у фільтрів з поліпропіленового матеріалу, у котрого з зовнішнього шару знімався електростатичний заряд, пиломісткість збільшувалася на 11-14 %.

7 Встановлено, що показники якості фільтрів гофрованих в одній площині до респіраторів РПА-ТД відповідають вимогам, як вітчизняних стандартів ГОСТ так і гармонізованих з європейськими ДСТУ їх показники дещо гірші в порівнянні з аналогічними фільтрувальними елементами типу КЗГ, що пояснюється збільшеною площею фільтрації у останніх. Цей недолік можна усунути, збільшивши габарити прямокутної фільтрувальної коробки.

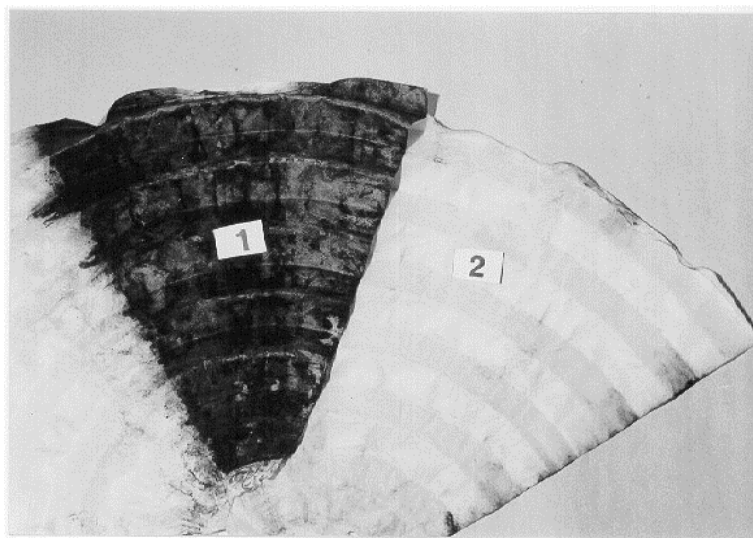
7 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРУЮЧОГО ЕЛЕМЕНТА ПІДВИЩЕНОЇ ПИЛОМІСТКОСТІ

7.1 Передумови виготовлення фільтруючого елемента підвищеної пиломісткості на основі багатошарових фільтрувальних елементів

При виборі ЗІЗОД особливого значення слід набуває термін їх захисної дії. В умовах високої запиленості цей показник – один з головних. Час експлуатації фільтрів, як відмічалось, встановлюється при досягненні перепаду тиску у межах допустимої величини 100 Па з витратою повітря через респіратор 30 л/хв (ДСТУ ГОСТ 12.4.041:2006). Чим вище значення терміну дії, тим повільніше зростатиме опір диханню, а значить – більше триватиме експлуатація респіратора. Отже, збільшення пиломісткості фільтрів є актуальною задачею, особливо за умови використання ЗІЗОД на робочих місцях з великою запиленістю повітря.

Підвищити пиломісткість фільтрів можна двома шляхами. Перший, – за рахунок збільшення площі фільтрації. Його можливості обмеженні габаритами

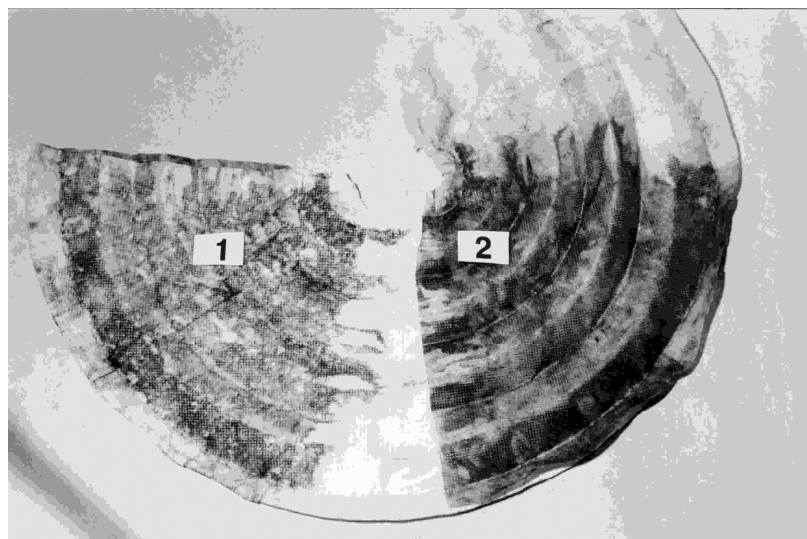
фільтрувальної коробки, розміри якої визначаються насамперед виходячи з обмеження поля зору респіратору. Другий, – полягає у виготовленні фільтрувальних матеріалів із змінною щільністю волокон за їх товщиною, котрі важко виготовити. Простіше рішення – набір кількох фільтрувальних шарів різної щільності. Так, зовнішній шар або попередній фільтр – нещільний, а внутрішній або основний фільтр – щільніший. Використання попереднього фільтра з невеликим початковим опором дасть можливість збільшувати пиломісткість за рахунок вилучення грубодисперсних частинок аерозолі, які, потрапляючи на основний щільніший шар фільтра, забивають пори і різко зменшують його ресурс. На рис. 7.1 та 7.2 відповідно зображено розгортки фільтрувального елемента із елефлену та ФПП 15-0,6 з спанбондовою підкладкою щільністю 35 г/м² і діаметром волокон близько 4 мкм .



1 – зовнішній шар; 2 – внутрішній шар

Рисунок 7.1 – Розгортка п'ятискладчастого фільтрувального елемента із елефлену

Бачимо, що на підкладці осіла грубодисперсна фракція пилу, а на фільтрувальному матеріалі – тонкодисперсна



1 – шар фільтрувального матеріалу; 2 – спанбондова підкладка

Рисунок 7.2 – Розгортка п'ятишарового фільтрувального елемента із ФПП 15-0,6:

У табл. 7.1 наведено результати експериментів з фільтрами респіратору РПА-ТД із фільтрувальних матеріалів ФПП 15-1,5 та ФПП 15-0,6, що різняться типом зовнішнього шару. Дослідження проходили за методикою [1].

Таблиця 7.1 – Результати дослідження фільтрів респіратору РПА-ТД з різними типами зовнішнього шару

Показник	Значення показників			
	Фільтри з ФПП 15-1,5 із спанбон-довою підкладкою	Фільтри з ФПП 15-1,5 із марлевою підкладкою	Фільтри з ФПП 15-0,6 із спанбон-довою підкладкою	Фільтри з ФПП 15-0,6 із марлевою підкладкою
Перепад тиску Δp , Па, на фільтрі, з витратою повітря 15 л/хв	$38 \pm 2,3$	$34 \pm 1,9$	$30 \pm 1,2$	$31 \pm 2,0$
Пиломісткість фільтрів, г, при концентрації вугільного пилу в повітрі до 300 мг/м^3	$5,4 \pm 0,14$	$5,1 \pm 0,09$	$5,9 \pm 0,13$	$5,6 \pm 0,2$
Питома пиломісткість фільтра, г/м^2	11,4	10,4	12,8	11,2

Як видно з даних зазначеної таблиці, найбільша питома пиломісткість у фільтрів – з поверхневим шаром із спанбонда, за умови його розміщення з боку набігання повітряного потоку. Це пояснюється тим, що спанбонд характеризується відносно невеликою щільністю волокон. Отже, при виготовленні ЗІЗОД слід так підбирати шари фільтрувальних матеріалів.

Оскільки для виготовлення фільтрів респіратору РПА-ТД широкого розповсюдження сьогодні набули елефлен, НФП та інші поліпропіленові фільтрувальні матеріали, то особливий інтерес викликають дослідження механізму їх забруднення пиловими частинками. З цією метою дано оцінку впливу додаткових шарів волокон різної щільності на пиломісткість поліпропіленових зразків площею 10 см^2 , запиленість яких тривала до граничного опору у 100 Па (табл. 3.2).

Таблиця 7.2 – Пиломісткість зразків з додатковим зовнішнім шаром

Матеріал додаткового	Маса	Опір	Маса зразка	Маса
----------------------	------	------	-------------	------

шару із спанбонда щільністю волокон, г/м ²	зразка, г	дихання, Па	з пилом, г	пилу, г
33	0,885	2,35	2,238	1,353
37	0,931	2,35	1,958	1,227
30	0,925	2,26	2,541	1,616
18	0,776	2,14	1,906	1,130

Із зазначеного вище випливає: ретельно підібрані параметри додаткового шару забезпечують максимальну пиломісткість фільтра в цілому. Отже, виникає задача, яка полягає у визначенні параметрів багат шарових фільтрів, які б забезпечили максимальну пиломісткість, з одночасним досягненням її граничного значення при заданій ефективності пиловловлення.

7.2 Особливості розрахунку параметрів багат шарових фільтруючих елементів

Виходячи з теоретичних досліджень процесу взаємодії аерозольних частинок з волокнами фільтруючого матеріалу, а також основних законів фільтрації (які наведено у попередніх розділах) дозволили розробити метод визначення оптимальних радіусів волокон основного й додаткового шарів волокнистих фільтрів.

Методика розрахунків складається із двох етапів. На першому - розраховується діаметр волокон попереднього фільтра, виходячи з максимальної пиломісткості для заданого граничного опору дихання й розміру частинок пилу. При цьому товщина й щільність упакування волокон фільтруючого шару вибирається виходячи з умов технологічного процесу його формування при виробництві фільтрувальної тканини. На другому етапі – розраховується радіус волокна основного фільтра, виходячи із заданої ефективності пиловловлення.

Залежність перепаду тиску Δp на фільтрувальному шарі з поліпропіленових волокон від його пиломісткості можна виразити за формулою:

$$\Delta p = \Delta p_0 + \frac{k d \rho_n \varphi}{6 F_0} \left[\left(F_6^2 + \frac{4 \Pi F_6}{d \rho_n \varphi} \right)^{3/2} - F_6^3 \right], \text{ Па} \quad (7.1)$$

де Δp_0 – перепад тиску на чистому фільтруючому шарі, Па; d – діаметр волокна, м; ρ_n – насипна щільність часток пилу, кг/м³; φ – коефіцієнт, що враховує зміну маси шаруючи пил на поверхні волокна залежно від її дисперсного состава; $F_6 = \frac{4 \beta H}{d}$ – сумарна поверхня волокон, м²; H – товщина фільтруючого шару, м; β – щільність упакування часток; F_0 – площа чистого фільтруючого матеріалу, м²; Π – пиломісткість, кг/м²; k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від швидкості фільтрації (для поліпропіленових волокон $k = 2,93 \cdot 10^4 \nu$), м^{4/3}; тут ν – швидкість фільтрації, м/с.

На рис. 7.3 представлено сімейство кривих $\Delta p(\Pi)$, які були розраховані для типових умов фільтрації за різних радіусів волокон.

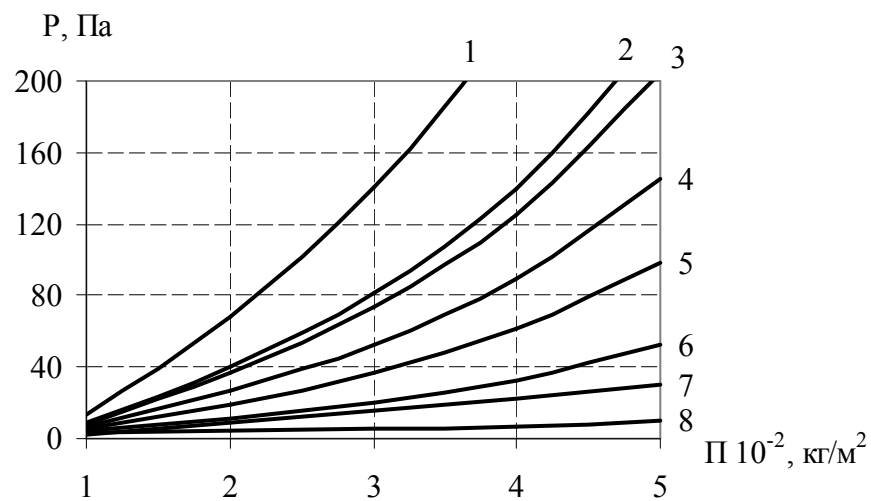


Рисунок 7.3 – Залежність перепаду тиску Δp від пиломісткості Π фільтруючого шару. Криві розраховані при $v = 1,5$ м/с; $\gamma = 0,05$; $H = 6$ мм; і діаметрів волокон $d = 2$ мкм (1); 2,5 (2); 3 (3); 3,5 (4); 4 (5); 4,5 (6); 10 (7); 15 (8)

З рис. 7.3 видно, що при одній і тій же товщині фільтруючого шару й щільності упакування зі збільшенням діаметру волокон пиломісткість фільтруючого матеріалу збільшується, оскільки необхідно більше часу для досягнення опору дихання, що відповідає граничному перепаду тиску.

Відомо, чим більше діаметр волокон, тим менше ефективність фільтруючого матеріалу [4]. Враховуючи те, що зовнішній шар складається з грубих волокон, необхідно визначити концентрацію пилового аерозолі після нього, щоб розрахувати параметри останнього фільтруючого шару і визначити приріст перепаду тиску і загальну ефективність фільтра. Так, якщо діаметр волокон у зовнішньому шарі буде занадто великий, (тобто він характеризується низькою ефективністю уловлювання), це призведе до швидкого зростання перепаду тиску на останньому фінішному шарі за рахунок збільшеного проникнення частинок (рис. 7.4), і навпаки, якщо діаметр волокон попереднього шару буде занадто тонким, то в результаті він заб'ється набагато швидше ніж фінішний (рис. 7.5). Таким чином, виявляється існування оптимального радіусу волокон попереднього фільтра, щоб забезпечити рівномірний у часі приріст перепаду тиску на обох фільтрувальних шарах.

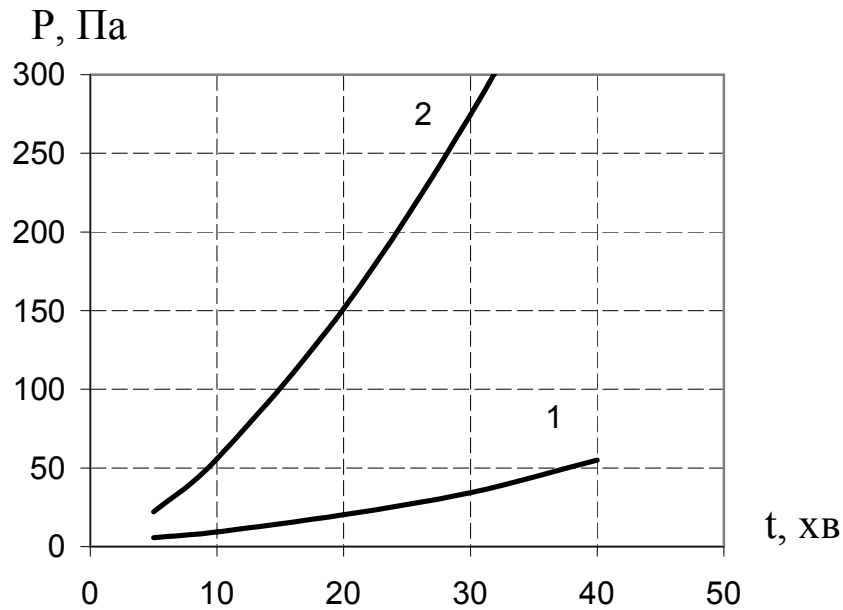


Рисунок 7.4 – Залежність приросту перепаду тиску Δp від часу t у двошаровому фільтрі: 1 – зовнішній фільтр, 2 – основний фільтр.

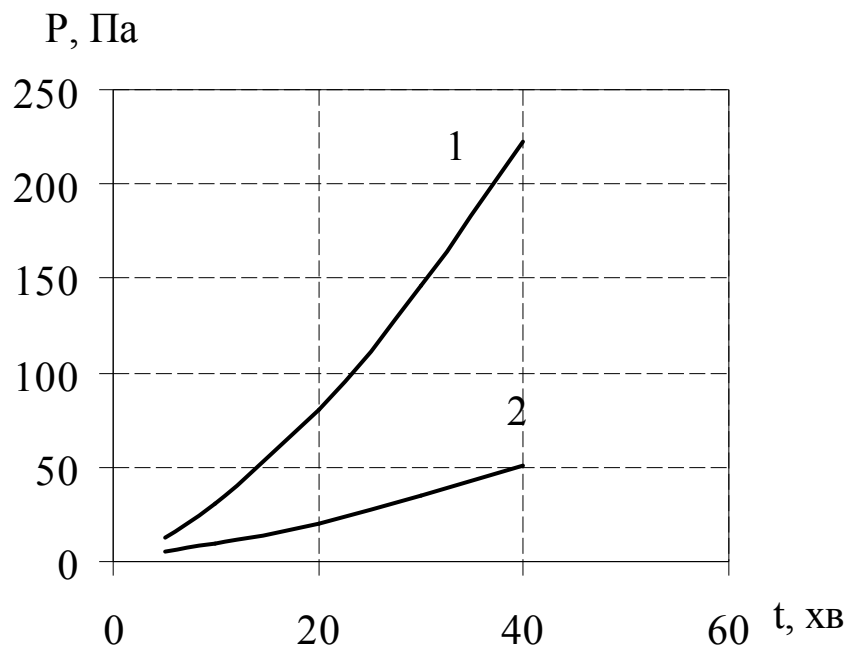


Рисунок 7.5 – Залежність приросту перепаду тиску Δp від часу t у двошаровому фільтрі: 1 – зовнішній фільтр, 2 – основний фільтр.

Визначившись із розміром волокон попереднього щабля очищення, необхідно встановити ефективність її пиловловлення (фільтрації)

$$\mathcal{E} = 1 - K = 1 - \exp\left(-\frac{\beta H}{\pi d} \eta_3\right), \% \quad (7.2)$$

де K – коефіцієнт проникнення аерозолію через фільтруючий шар, %; η_3 – загальний коефіцієнт захвата аерозольних часток.

Відомо, що ефективність уловлювання аерозольних часток зменшується зі збільшенням діаметра волокон (рис. 3.6), тому після визначення пиломісткості фільтруючого шару, необхідно обов'язково перевірити, чи забезпечується ефективність фільтрації.

Концентрацію пилового аерозолю після фільтруючого шару C_n можна розрахувати за формулою

$$C_n = KC_0, \text{ мг/м}^3 \quad (7.3)$$

де C_0 – концентрація пилового аерозолю до фільтра, мг/м^3 .

Пиломісткість фільтруючого шару за час t , при відомій витраті повітря Q і концентрації пилового аерозолю C_0 , можна визначити

$$П = \frac{C_0 Q t}{F_0}, \text{ мг/м}^2. \quad (7.4)$$

Необхідно відзначити, що розміри вловлюваних частинок і їх концентрація значно впливають на діаметр волокон фільтрувального матеріалу [50]. Тому виконані розрахунки орієнтовані на типовий розподіл дисперсного складу вугільного пилу [51], тобто для забезпечення максимального терміну служби фільтра в умовах гірничих підприємств.

Порядок розрахунку – такий. За концентрацією пилу в повітрі робочої зони визначаємо пиломісткість попереднього шару за час t (7.4). За рис. 7.3. установлюємо діаметр волокна, який забезпечить найбільшу пиломісткість. Потім, визначившись із щільністю упакування і товщиною фільтруючого шару (для поліпропіленових фільтрів $\beta = 0,05$; $H = 6$ мм), розраховуємо ефективність фільтрації за формулою (3.2) і концентрацію пилового аерозолю після попереднього шару (7.3). За формулою (1) установлюємо ріст перепаду тиску на зовнішньому шарі за обраний час t .

Діаметр волокон фінішного фільтра визначаємо виходячи із заданої ефективності фільтрації респіратору за формулою (7.2). Визначившись із пиломісткістю фінішного фільтра, яку розраховуємо за теж самий час t (7.4), і його діаметром за формулою (7.1) – установимо приріст перепад тиску, що створить на ньому осілий шар пилу й зрівняємо його з перепадом тиску на попередньому фільтрі. При цьому необхідно, так підібрати діаметр волокна попереднього шару очищення, щоб зріст перепаду тиску на обох фільтрах був практично однаковий (рис. 7.7).

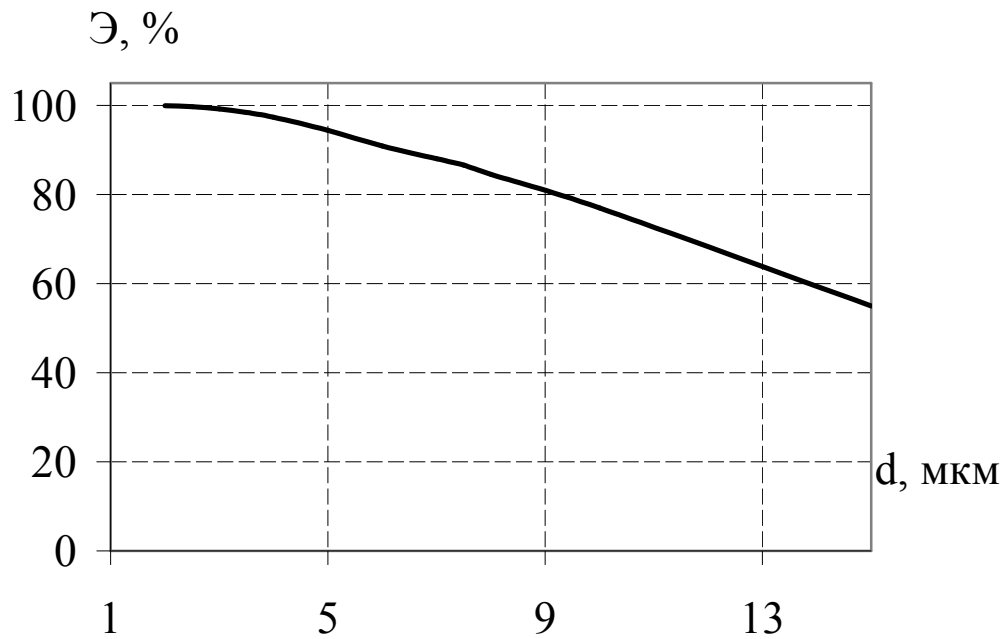


Рисунок 7.6 – Залежність ефективності фільтрації \mathcal{E} шаруючи фільтруючого матеріалу від діаметра волокон d

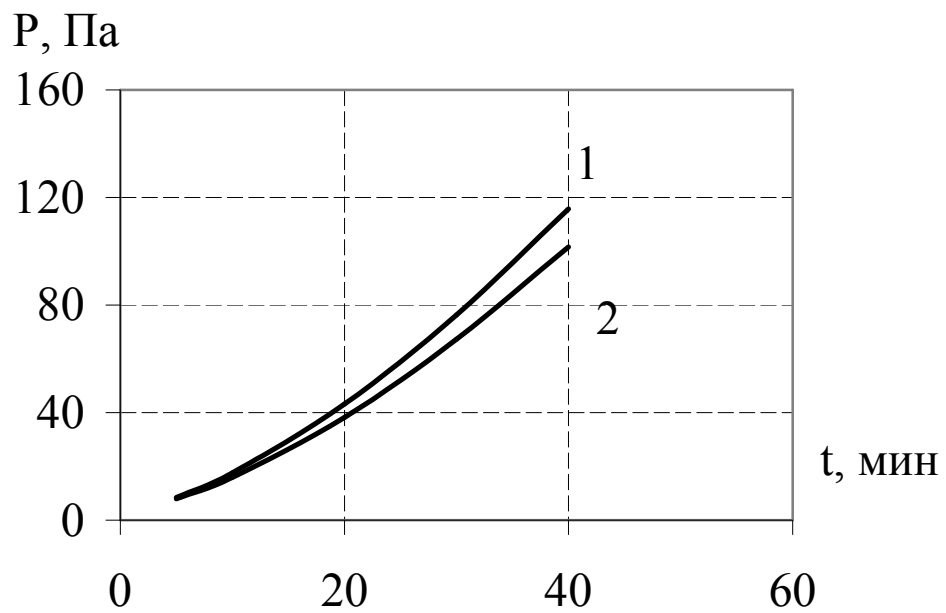


Рисунок 7.7 – Залежність приросту перепаду тиску Δp від часу t у двошаровому фільтрі: 1 – попередній фільтр, 2 – основний фільтр

У табл. 7.3 наведені результати розрахунків двошарових поліпропіленових фільтрів із загальною площею фільтрації 50 см^2 при концентрації вугільного пилу 500 мг/м^3 , для заданої ефективності фільтрації $E = 99,99\%$.

**ТАБЛИЦЯ 3.3 – РЕЗУЛЬТАТИ
РОЗРАХУНКІВ ДВОШАРОВИХ ФІЛЬТРІВ**

Час роботи фільтр, t, хв	Діаметр волокон попереднього фільтра, d мкм	Пилемісткість попереднього фільтра, П, г/м ²	Перепад тиску на попередньому фільтрі, Па	Діаметр фінішного фільтр, d мкм	Пилемісткість фінішного фільтра, П, г/м ²	Перепад тиску фінішного фільтра, Па	Сумарна пилемісткість фільтра, П, г/м ²	Сумарний перепад тиску на фільтрі, Па
5	6	0,01	13,2	3	0,001	5,67	0,011	18,9
10		0,03	30,9		0,002	9,53	0,032	40,4
20		0,06	81,0		0,005	20,39	0,065	101,4
30		0,09	145,8		0,008	34,43	0,098	180,2
5	7,5	0,01	8,5	3	0,002	7,9	0,012	16,4
10		0,03	17,5		0,004	15,9	0,034	33,4
20		0,06	43,2		0,009	38,3	0,069	81,5
30		0,09	76,4		0,013	67,2	0,103	143,6
5	8	0,01	7,6	3	0,002	8,8	0,012	16,4
10		0,03	15,0		0,005	18,5	0,035	33,5
20		0,06	36,1		0,001	45,6	0,061	81,7
30		0,09	63,5		0,015	80,7	0,105	144,2
5	9	0,01	5,6	3	0,004	22,1	0,014	27,7
10		0,03	9,4		0,007	55,8	0,037	65,2
20		0,06	20,2		0,014	151,2	0,074	171,4
30		0,09	34,2		0,021	274,7	0,111	308,9

В результаті розрахунків був отриманий оптимальний діаметр волокна попереднього фільтра ($d = 7,5$ мкм), що забезпечить найкращі характеристики фільтра по пилоємності й ефективності фільтрації.

Таким чином, запропонована методика дозволить розраховувати в першому наближенні, без урахування розподілу вугільного пилу по фракціях, оптимальні радіуси волокон багат шарових фільтруючих матеріалів, призначених для засобів індивідуального захисту органів дихання. Їх використання на вуглевидобувних підприємствах дозволить підвищити час експлуатації фільтра при меншому навантаженні на органи дихання.

7.3 Експериментальні дослідження ефективності багат шарових фільтруючих елементів

У НВП „Стандарт-1” (м. Дніпропетровськ) був створений фільтрувальний матеріал елфлен 5СМ, зовнішній шар якого містить волокна діаметром 5-7 мкм, а

внутрішній – 1-5 мкм. Фільтр з цього матеріалу функціонує так: запилене повітря потрапляє на поверхню гофрів фільтрувального елемента; пилові частинки понад 15 мкм, ударяючись об рівну поверхню зовнішнього шару, падають, не затримуючись, а частинки розміром 5-15 мкм осідають на поверхні і через відносно великі розміри пор частково проникають усередину фільтра. Завдяки цьому поверхня фільтрувального елемента не перенасичується пилом, що сприяє проникненню дрібних пилових частинок менше 5 мкм у міжшаровий простір, де вони і залишаються.

У табл. 7.4 наведено основні результати порівняльних досліджень п'ятискладчастих фільтрів із елефлену марок 5С і 5СМ. Крім того, вміщено підсумки випробувань фільтрів із елефлену, зовнішній шар якого не має електростатичного заряду.

Таблиця 7.4 – Результати порівняльних випробувань фільтрів за концентрацією вугільного пилу

Фільтрувальний матеріал для виготовлення фільтрів	Початкова маса зразка, г	Перепад тиску, Δp , Па, на фільтрі з витратою повітря 15 л/хв	Пиломісткість фільтрів, г, при концентрації вугільного пилу в повітрі 300 мг/м ³	Захисна ефективність, %
Елефлен 5С	4,88 ± 0,05	16,3 ± 1,1	7,43 ± 0,24	99,93 ± 0,01
Елефлен 5СМ	4,84 ± 0,07	15,8 ± 1,3	8,82 ± 0,03	99,93 ± 0,01
Елефлен без електростатичного заряду	4,86 ± 0,03	16,7 ± 1,1	8,32 ± 0,15	99,90 ± 0,02

Таким чином, пиломісткість багат шарових матеріалів різної щільності волокон на 20 – 25 % вища, ніж звичайного фільтрувального матеріалу.

7.4 Висновки

1. Проаналізовані передумови виготовлення фільтруючого елемента протипилового респіратора підвищеної пиломісткості на основі багат шарових фільтрувальних елементів.

2. Запропоновано перспективне рішення, що полягає у виготовленні фільтрувальних матеріалів із змінною щільністю волокон за їх товщиною, як набір кількох фільтрувальних шарів різної щільності. Так, зовнішній шар, тобто попередній фільтр – нещільний, а внутрішній або основний фільтр – щільніший.

3. Використання попереднього фільтра з невеликим початковим опором дає можливість збільшувати пиломісткість за рахунок вилучення грубодисперсних частинок аерозолі, які, потрапляючи на основний щільніший шар фільтра, забивають пори і різко зменшують його ресурс. Ретельно підібрані параметри додаткового шару забезпечують максимальну пиломісткість фільтра в цілому з

одночасним досягненням її граничного значення при заданій ефективності пиловловлення

4. Виходячи з теоретичних досліджень процесу взаємодії аерозольних частинок з волокнами фільтруючого матеріалу, а також основних законів фільтрації розроблено метод визначення оптимальних радіусів волокон основного й додаткового шарів волокнистих фільтрів. Методика розрахунків складається із двох етапів. На першому, – розраховується діаметр волокон попереднього фільтра, виходячи з максимальної пиломісткості для заданого граничного опору дихання і розміру частинок пилу, зважаючи на умови технологічного процесу формування фільтрувальної тканини при її виробництві. На другому етапі розраховується радіус волокна основного фільтра, виходячи із заданої ефективності пиловловлення.

5. Виявлено існування певного (оптимального) радіусу волокон попереднього фільтра для забезпечення рівномірного у часі приросту перепаду тиску на обох фільтрувальних шарах. Виконані відповідні розрахунки, орієнтовані на типовий розподіл дисперсного складу вугільного пилу. Отриманий оптимальний діаметр волокна попереднього фільтра (7,5 мкм), що забезпечить найкращі характеристики фільтра за пиломісткістю й ефективністю фільтрації.

6. Запропонований метод дозволяє розраховувати в першому наближенні, без урахування розподілу вугільного пилу по фракціях, оптимальні радіуси волокон багатошарових (переважно двошарових) фільтруючих матеріалів, призначених для засобів індивідуального захисту органів дихання, що забезпечують підвищення часу експлуатації фільтра при меншому навантаженні на органи дихання.

7. Проведено експериментальні дослідження ефективності багатошарових фільтруючих елементів. У їх основу покладено фільтрувальний матеріал елфлен 5СМ, створений у НВП „Стандарт-1” (м. Дніпропетровськ), зовнішній шар якого містить волокна діаметром 5-7 мкм, а внутрішній – 1-5 мкм.

8. Встановлено механізм роботи фільтру з такого матеріалу, згідно з яким запилене повітря потрапляє на поверхню гофрів фільтрувального елемента; пилові частинки понад 15 мкм, ударяючись об рівну поверхню зовнішнього шару, падають, не затримуючись, а частинки розміром 5-15 мкм осідають на поверхні і через відносно великі розміри пор частково проникають усередину фільтра. Завдяки цьому, поверхня фільтрувального елемента не перенасичується пилом, а це сприяє проникненню дрібних пилових частинок менше 5 мкм у міжшаровий простір, де вони і залишаються.

9. Наведено основні результати порівняльних досліджень фільтрів із елфлену марок 5С і 5СМ та підсумки випробувань фільтрів із елфлену, зовнішній шар якого позбавлений електростатичного заряду. Встановлено, що пиломісткість багатошарових матеріалів різної щільності волокон на 20-25% вища, ніж звичайного фільтрувального матеріалу.

8 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЛЕГКОГО ПРОТИПИЛОВОГО РЕСПІРАТОРА ТА ЙОГО ВИПРОБУВАННЯ

8.1 Аналіз причин необхідності удосконалення існуючих конструкцій легких півмасок

В 2004 р. в Україні отримали чинність нові стандарти, гармонізовані з європейськими, що регламентують вимоги до виробництва та перевірки якості ЗІЗОД. За своєю суттю вони не відрізняються від вітчизняних (діють до 2010 р.), але мають важливі відмінності. У вітчизняних стандартах за основу взято – класи захисту. Європейські ж базуються на інших підходах до оцінки якості ЗІЗОД. Так, у стандартах країн Європейської Співдружності (EN 133, EN 136, EN 140, EN 143, EN 149) окремими пунктами передбачена спеціальна підготовка респіраторів до випробувань. Підготовка полягає в тому, що одна серія зразків спочатку піддається температурному впливу на протязі доби, тобто 24 години, при +70 °С і такої ж тривалості при температурах -30 °С. Друга серія зразків проходить «моделювання режиму носіння», коли крізь фільтрувальні півмаски, закріплені на «шеффілдському» муляжі голови, пропускається двосторонній повітряний потік штучно зволоженого повітря. Третя серія зразків піддається механічному впливу (імітація низькочастотної вібрації) і тестується на займистість, піднесенням ЗІЗОД до відкритого полум'я з температурою 800 °С. Крім того, відповідно до EN 149:1991 випробовують захисні вироби з рівнем витрати повітря не тільки 30 л/хв, як передбачено вітчизняними стандартами, а й 95 л/хв. До того ж, європейська класифікація передбачає три ступеня якості фільтрувальних півмасок за показником захисної ефективності, а саме: низька ефективність відповідає 1-му класу якості (FFP1), середня – 2-му (FFP2), а висока – 3-му (FFP3).

У табл. 8.1 наведені нормативні значення основних показників ЗІЗОД згідно з EN 149:1991.

Таблиця 8.1– Нормативні значення основних показників ЗІЗОД згідно з EN 149:199

Класи якості за EN 149:1991	Коефіцієнт проникнення тест-аерозолю через ЗІЗОД, %	Опір диханню постійному повітряному потоку, Па, не більше		Об'ємна концентрація вуглекислого газу в повітрі, що вдихується з об'ємом вдиху 2 дм ³ (л), %, не більше	Маса ЗІЗОД, яка створює навантаження на голову, кг, не більше
		30 л/хв	95 л/хв		
FFP1	< 25	60	210	1,0	0,3
FFP2	< 11	70	240	1,0	0,5
FFP3	< 5	100	300	1,0	0,5

У наступній табл. 8.2 порівняно вимоги вітчизняного і європейського стандартів

Таблиця 8.2 – Порівняння вимог вітчизняного і європейського стандартів

Вимоги за ДСТУ 12.4. 041-89		Вимоги за EN 149:1991	
Ступінь захисту	Коефіцієнт проникнення тест-аерозолю через ЗІЗОД, %	Ступінь якості	Коефіцієнт проникнення тест-аерозолю через ЗІЗОД, %
1-й	< 0,1	FFP3	< 5
2-й	< 1	FFP2	< 11
3-й	Понад 1	FFP1	< 25

Витікає, що показники захисної ефективності ЗІЗОД за EN 149:1991 нижчі, ніж за ДСТУ 12.4.041-89. Очевидно, що це зумовлено як температурним впливом на захисний виріб, так і режимом випробувань, що підвищують ймовірність проникнення тест-аерозолю.

Випробування респіратора „Лепесток”-40, одного з самих розповсюджених на виробництві, на відповідність до гармонізованого ДСТУ EN 149:2003 в умовах „Випробувальної лабораторії технічної експертизи засобів колективного та індивідуального захисту працюючих” ТОВ ПМТП «Спецнаб» (м. Дніпропетровськ) показали (табл. 8.3), що він не відповідає вимогам за наступними показниками:

- коефіцієнтом проникнення за тест-аерозолем парафінове масло;
- загорянням виробу.

Таблиця 8.3 – Основні показники респіраторів „Лепесток”– 40 за ДСТУ EN 149:2003

Показники	Значення показників	
	Фактичні	ДСТУ EN 149:2003 для FFP2
Коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем парафінове масло при витраті 30 л/хв, К, %		
- після отримання;	2	не більше 6
- після температурного впливу	18	
- після механічного впливу	2	
- після моделювання режиму		
Опір постійному повітряному потоку при витраті 30 л/хв, Р, Па,		
- після отримання;	12	не більше 70
- після температурного впливу	10	
- після механічного впливу	11	
- після моделювання режиму		
Тест на загоряння при $t = + 800$ °С	загоряється	не загоряється
Вміст диоксиду вуглецю у повітрі, що	не більше 1	не більше 1

видихується, %		
----------------	--	--

Причини такої невідповідності криються в тому, що матеріал ФПП не може піддаватися механічним деформаціям і при цьому не руйнуватися, оскільки він складається з ущільнених при виготовленні сухих волокон, що зв'язуються між собою в місцях дотику силами адгезії, а також притискаються одне до одного електричними силами. Як приклад незворотної руйнівної дії механічного впливу приводимо залежність коефіцієнта проникнення K %, за тест-аерозолем масляного туману (витрата 30 л/хв), від відносного розтягування скручених в трубочку зразків матеріалу ФПП 15–1,5 при навантаженні їх уздовж осі згортання (рис. 8.1) [1]. Як бачимо, вже відносно невеликі зусилля, що ще витримує матеріал ФПП, суттєво погіршують його захисну ефективність.

На експлуатаційні показники ФПП також суттєво впливає і нагрівання, що призводить до зміни механічних властивостей волокнистого шару та порушенню його структурних параметрів. В результаті випробувань встановлено, що при дії тепла матеріал ФПП характеризується стійкими показниками тільки до температури 60 °С (рис. 8.2). Подальше зростання температури (до 150 °С) призводить до ущільнення волокон і збільшення аеродинамічного опору, близько 200 °С – до оплавлення волокон, а при 250 °С – утворення мікророзривів та насамкінець руйнування структури матеріалу.

Таким чином, після процедури підготовки до випробувань, захисна ефективність респіратора «Лепесток», що традиційно виготовляється з матеріалів ФПП 15–1,5, не відповідає вимогам нових стандартів.

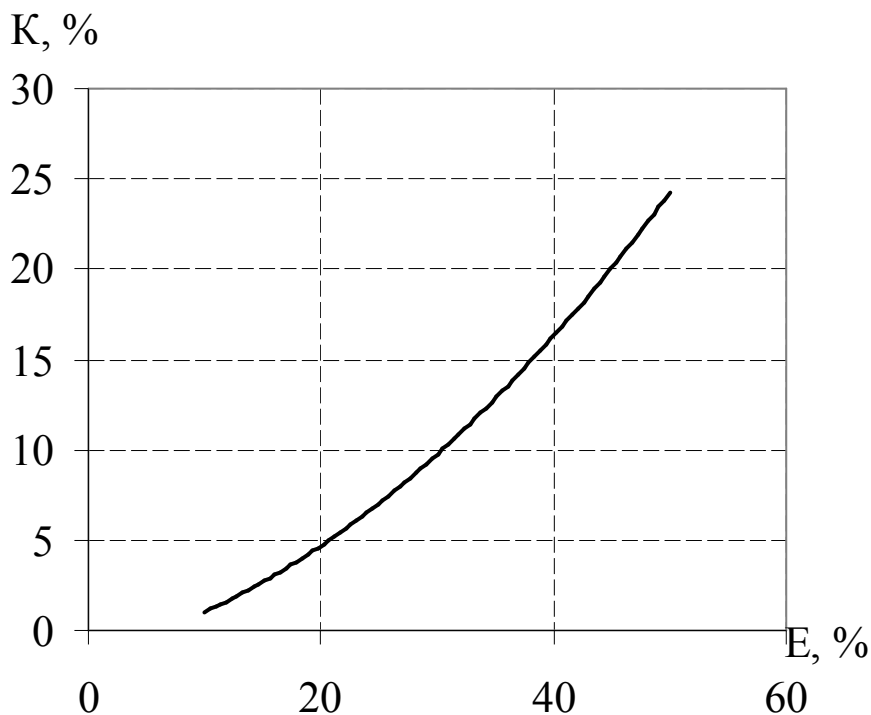


Рисунок 8.1 – Залежність проникання за масляним туманом волокнистих матеріалів ФПП від відносної деформації звернутих в трубочку зразків

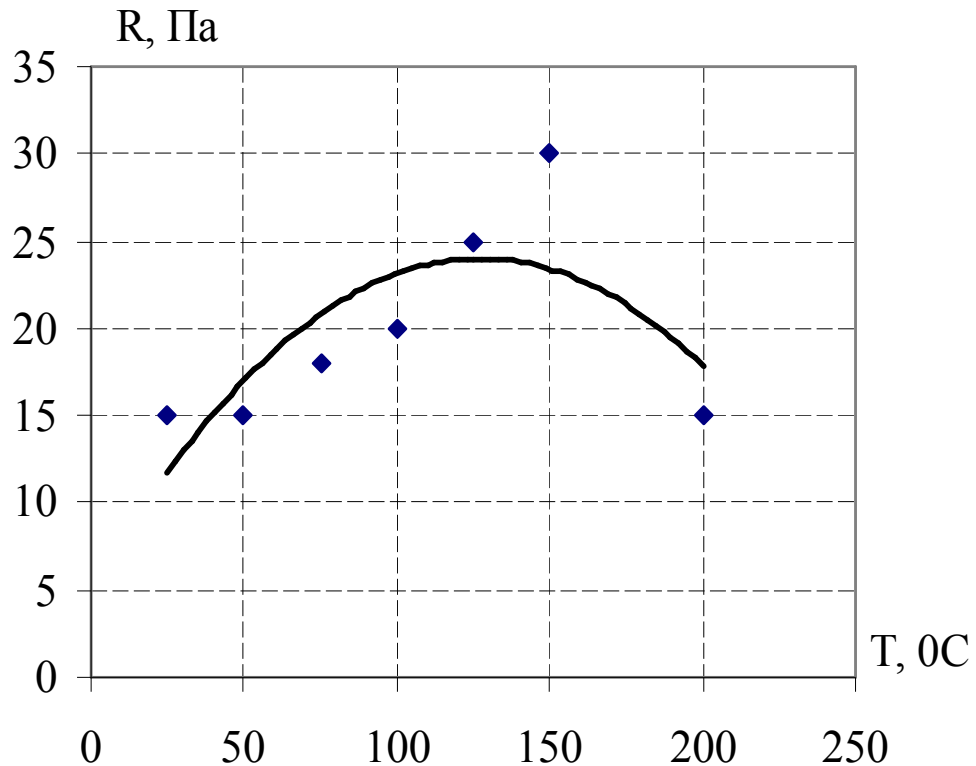


Рисунок 8.2 – Залежність опору повітряному потоку від дії температури для матеріалу ФПП 15 – 1,5

Отже, перша причина необхідності удосконалення існуючих моделей респіраторів, виготовлених з ФПП, – вирішення проблем пов'язаних із введенням нових стандартів, тобто технічні характеристики респіратора повинні задовольняти вимогам ДСТУ EN 149:2003.

Друга причина – проникнення забрудненого повітря за смугою обтюрації, оминаючи фільтр, особливо в області перенісся. Попередні дослідження (див. розділі 4) показують, що згадане проникнення зростає зі збільшенням опору фільтрувального шару.

Коефіцієнт проникнення респіратора (K_n) в цілому залежить, як від параметрів фільтруючого елемента, так і від щільності притиснення респіратора до обличчя людини за смугою обтюрації, що й обумовлює підсмоктування повітря, оминаючи фільтруючий елемент. Отже, частина повітряного потоку з аерозолем потрапляє у підмасковий простір через нещільності між обтюратором і обличчям людини. Опір смуги обтюрації зазвичай менше опору фільтрувальної півмаски, при цьому K_n буде тим більше, чим більше співвідношення аеродинамічних опорів фільтруючого елемента і смуги обтюрації. Так, результати порівняльних випробувань зразків фільтрувального матеріалу з однаковою площею фільтрації та готових респіраторів з цих матеріалів, (оцінювали їх показники на муляжі) показали відмінність K_n , що пояснюється саме нещільностями смуги обтюрації (табл. 8.4).

Таблиця 8.4 – Основні показники готового респіратора і зразка фільтрувального матеріалу для його виготовлення

Тип виробу, що випробовується	Швидкість фільтрації, v_0 , м/с	Перепад тиску на виробі, Δp , Па	Коефіцієнт проникнення тест-аерозолю, K , %
Зразок фільтрувального матеріалу елефлен	0,0016	8,1±0,5	1,1±0,005
Респіратор ШБ-1 «Лепесток-40Е» з елефлена	0,0016	10,9±0,4	2,3±0,005
Зразок фільтрувального матеріалу ФПП15 - 1,5	0,0016	24,7±0,7	0,23±0,004
Респіратор ШБ-1 «Лепесток -200»	0,0016	32,6±1,9	0,95±0,005

Таким чином, виникає ряд задач, які необхідно вирішити для покращення існуючої конструкції широко розповсюдженого респіратора ШБ-1 «Лепесток», якість якого задовольняє споживачів, проте не відповідає вимогам нових стандартів. Отже, ставляться наступні завдання:

- дослідити вплив температури і вологи на аеродинамічний опір та захисну ефективність фільтрувальних матеріалів, які можуть бути використанні для виготовлення респіраторів типу «Лепесток» ;
- оцінити вплив механічного характеру на захисну властивість фільтрувальних матеріалів;
- дослідити конструкції обтюраторів;
- розробити конструкції легкої півмаски, які відповідали б вимогам гармонізованих стандартів;
- провести лабораторні випробовування розроблених конструкцій півмасок для визначення їх основних показників.

8.2 Методи випробувань

Для розуміння отриманих нижче результатів відносно випробувань конструкцій ЗІЗОД наведемо і проаналізуємо основні методи оцінки респіраторів, які вказані в нових гармонізованих з європейськими стандартах.

8.2.1 Методи оцінки захисних властивостей ЗІЗОД, регламентовані європейськими стандартами

В табл. 8.5 наведено основні вимоги до умов випробувань захисних властивостей ЗІЗОД, що відповідають ДСТУ EN, введення яких очікується.

Таблиця 8.5 – Методи оцінки захисних властивостей ЗІЗОД

Тип ЗІЗОД	Тест-аерозоль	Діаметр частинок, мкм	Швидкість повітряного потоку, л/хв	Час випробувань, хв	Концентрація тест-аерозолю у випробувальній камері, мг/м ³
Фільтри, патроні респіраторів, фільтрувальні півмаски	NaCl	0,6	95	3	8±4
	Парафінова олива	0,4	95	3	20±5

Звертаємо увагу на те, що коефіцієнт проникнення фільтрів і респіраторів визначається за двома тест-аерозолями: хлорид натрію і парафінове масло та повинен відповідати вимогам, які наведені в табл. 8.6 і табл. 8.7.

Таблиця 8.6 – Вимоги до коефіцієнта проникнення через ЗІЗОД

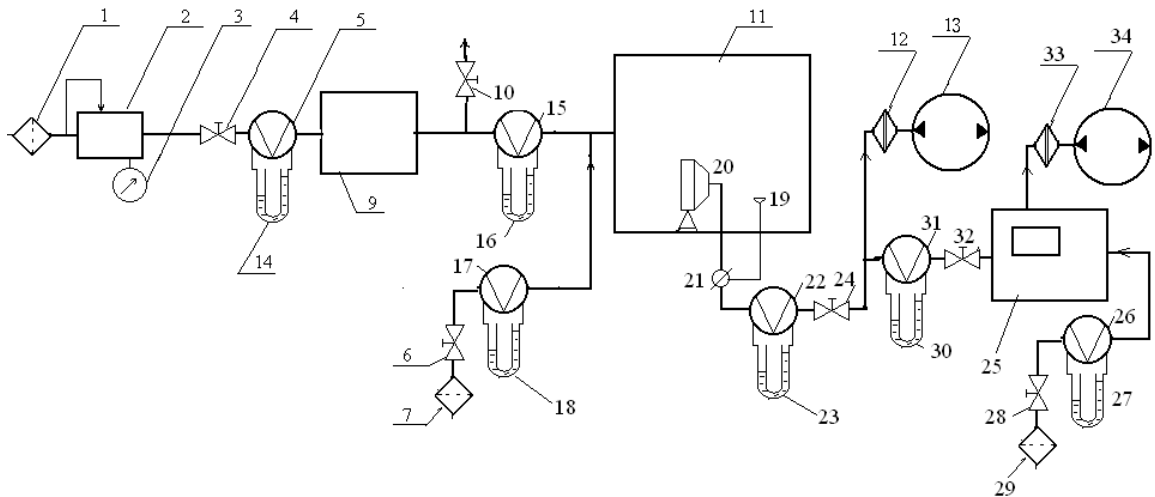
Клас захисту ЗІЗОД	Коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем	
	NaCl	парафінової оливи
FFP1	20	20
FFP2	6	6
FFP3	1	1

Таблиця 8.7 – Вимоги до коефіцієнта проникнення через фільтрувальні елементи ЗІЗОД

Клас захисту ЗІЗОД	Коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем	
	NaCl	парафінової оливи
FFP1	20	20
FFP2	6	6
FFP3	0,05	0,05

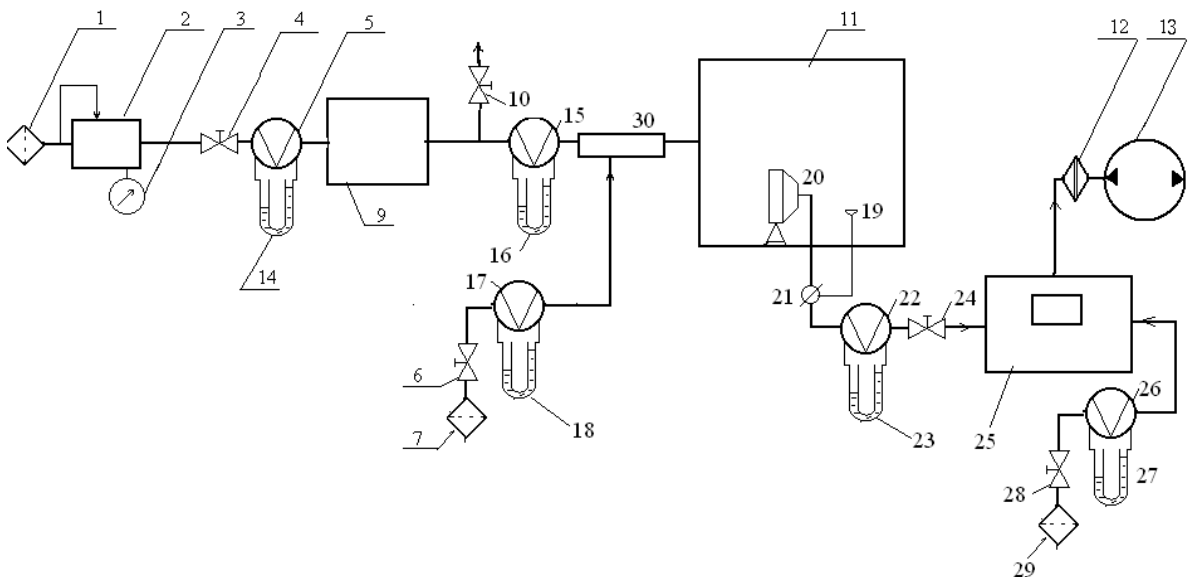
З наведених вимог випливає, що при визначенні захисної ефективності ЗІЗОД, виріб мусить герметизуватися на спеціальній насадці, через яку пропускають аерозольну суміш з витратою 95 л/хв. Концентрація частинок аерозолю у випробувальній камері повинна становити (8±4) мг/м³ для тест-аерозолю NaCl, або (20±5) мг/м³ – для парафінового масла.

За стандартом тривалість досліду складає 3 хв. За цей час визначають коефіцієнт проникнення: у першому випадку – за допомогою полум'яневого фотометра, у другому – інтегрального. Принципові схеми стендів для проведення випробувань наведені на рис. 8.3 та рис. 8.4.



1; 7; 29 – фільтри очищення повітря; 2 – стабілізатор тиску; 3 – манометр; 4,6,10, 24; 28; 32 – регульовані вентиля; 5; 15; 17; 22; 26; 31 – діафрагми (ротаметри); 9 – розпилювач аерозолі; 11 – випробувальна камера; 12; 33 – фільтри АФА для очищення повітря; 13; 34 – аспіратор; 14; 16; 18; 23; 27; 30 – мікроманометри рідинні; 19 – пробовідбірник; 20 – спеціальна насадка для закріплення півмаски або муляж голови (для фільтрів тільки насадка); 21 – трьохходовий вентиль; 25 – лічильник аерозольних частинок

Рисунок 8.3 – Принципова схема випробувань ЗІЗОД за аерозолем NaCl



1;7;29 – фільтри очищення повітря; 2 – стабілізатор тиску; 3 – манометр; 4;6;10; 24; 28 – регульовані вентиля; 5; 15; 17; 22; 26 – діафрагми (ротаметри); 9 – генератор аерозолі; 11 – випробувальна камера; 12 – фільтри АФА для очищення повітря; 13 – аспіратор; 14; 16; 18; 23; 27 – мікроманометри рідинні; 19 – пробовідбірник; 20 – спеціальна насадка для закріплення півмаски або муляж голови (для фільтрів тільки насадка); 21 – трьохходовий вентиль; 25 – інтегральний фотометр

Рисунок 8.4 – Принципова схема випробувань на парафіновому маслі

Для визначення коефіцієнта проникнення аерозолію через ЗІЗОД на тест-аерозолі NaCl готують 10 зразків: 5 – в такому стані, як доставили, і 5 – після температурного впливу.

Розрахунок коефіцієнта проникнення виконується за формулою

$$K = \frac{C_2}{C_1} \left(\frac{T_{вд} + T_{вид}}{T_{вд}} \right) 100, \%,$$

де C_1 – концентрація NaCl до фільтра, мг/м³; C_2 – концентрація NaCl після фільтра, мг/м³; $T_{вд}$ – загальна тривалість фази вдиху, с; $T_{вид}$ – загальна тривалість фази видиху, с.

Для визначення коефіцієнта проникнення фільтрів або фільтрувальних матеріалів відповідно до ДСТУ EN 143:2002 випробовують чотири зразки по кожному з аерозолів: два після механічного впливу і два після температурної підготовки. Коефіцієнт проникнення визначають за формулами:

- за тест-аерозолем NaCl

$$K = \frac{C_2}{C_1} 100, \%;$$

- за тест-аерозолем парафінової оливи

$$K = \frac{I_2 - I_0}{I_1 - I_0} 100, \%,$$

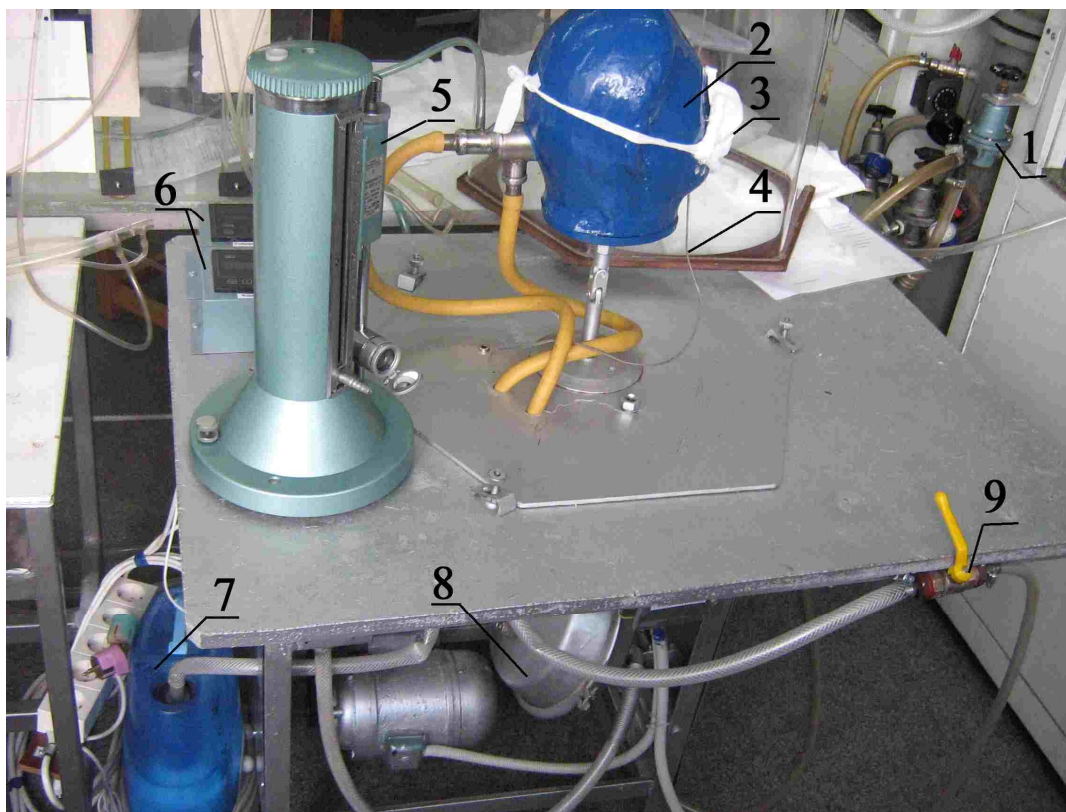
де I_2 – показники фотометра після фільтрування; I_1 – показники фотометра до фільтрування; I_0 – фонові показники фотометра.

Перед початком випробувань зразки ЗІЗОД повинні пройти попередню підготовку. В термобарокамері (рис. 8.5) фільтрувальні півмаски піддаються тепловому впливу за наступним температурним циклом: а) нагрівання протягом 24 год. в умовах сухої атмосфери за температури $(70 \pm 3) ^\circ\text{C}$; б) охолодження протягом 24 год. за температури $(\text{мінус } 30 \pm 3) ^\circ\text{C}$. У проміжку між температурними впливами та між останнім температурним впливом і подальшими випробуваннями півмаски витримують при кімнатній температурі не менше 4 год.



Рисунок 8.5 – Термобарокамера STBV 1000-IV

Друга серія зразків проходить «моделювання режиму носіння», коли крізь фільтрувальну півмаску, закріплену на «шеффілдському» муляжі голови людини, протягом 20 хв, пропускається двосторонній повітряний потік штучно зволоженого повітря з температурою 37 °С (рис. 8.6).



1 – стабілізатор тиску; 2 – муляж голови; 3 – респіратор; 4 датчик температури; 5 – мікроманометр; 6 – індикатори; 7 – зволожувач; 8 – дихальна машина; 9 – вентиль для регулювання витрати повітря

Рисунок 8.6 – Стенд для дослідження впливу температури і вологості повітря на основні показники фільтрувальних респіраторів:

Як передбачено методикою, вмикають дихальну машину, регулюють її на 25 циклів за хвилину з витратою повітря 2,0 дм³ (л) на хід, потім вмикають зволожувач і витримують прилад до досягнення сталого стану в роботі. Протягом випробовувань фільтрувальну півмаску періодично, з інтервалами приблизно 20 хв, повністю знімають і знову одягають на муляж. За весь час випробовувань ця процедура повторюється не менше 10 разів.

Третя серія зразків піддається механічному впливу протягом 20 хв. шляхом збудження низькочастотної вібрації на спеціальній установці, яка забезпечує 100 повних коливань за хвилину (рис. 8.7).



Рисунок 8.7 – Установка для випробувань на механічну міцність ЗІЗОД і фільтрів

8.2.2 Визначення опору диханню

Визначення опору диханню півмасок виконують при витраті повітря 30 л/хв. і 95 л/хв. на вдиханні та 160 л/хв. (табл. 8.8) при видиханні, а фільтрів – 30 л/хв. і 95 л/хв. (табл. 8.9). Зразок, що випробовується надійно закріплюють на муляжі голови (рис. 8.8). За допомогою мікроманометра знімають отримані показники, приводять їх до температури 23 °С і абсолютного тиску 1 гПа та обчислюють опір за формулою

$$\Delta P = \frac{P_{\min} \div P_{\max}}{P_{\text{cp}}},$$

де P_{\min} – мінімальне значення опору дихання; P_{\max} – максимальне значення опору дихання; P_{cp} – середнє значення опору дихання.

Таблиця 8.7 – Гранично допустимі показники опору дихання ЗІЗОД

Клас захисту	Максимально допустимий опір, бар		
	при вдиханні		при видиханні
	30 л/хв	95 л/хв	160 л/хв
P1	0,5	2,1	3,0
P2	0,7	2,4	3,0
P3	1,0	3,0	3,0

Таблиця 8.8 – Гранично допустимі показники опору дихання фільтрів

Клас захисту	Максимально допустимий опір, бар	
	30 л/хв	95 л/хв
P1	0,6	2,1
P2	0,7	2,4
P3	1,2	4,2

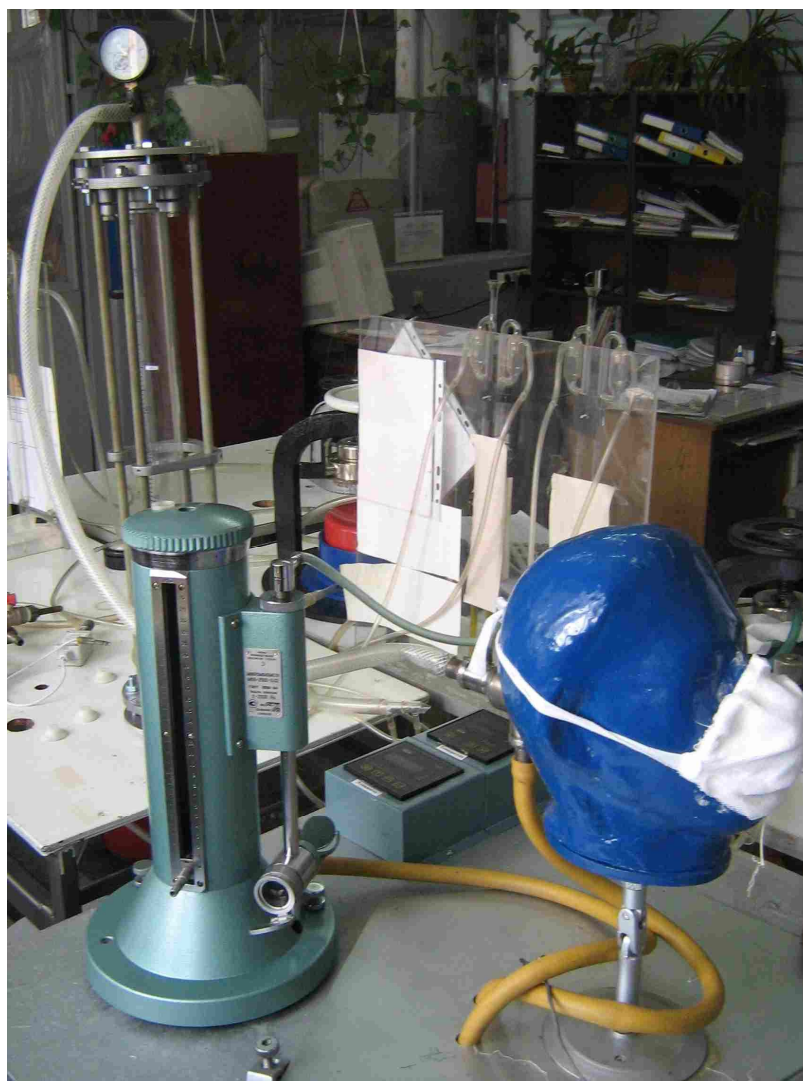


Рисунок 8.8 – Загальний вигляд установки для визначення опору диханню півмасок

Для випробувань відбирались 9 безклапанних фільтрувальних півмасок: три у тому стані, в якому їх доставили, три після температурного впливу і три після моделювання режиму носіння. У випадку клапанних півмасок необхідно випробовувати ще додатково три півмаски з попередньо перевіреною працездатністю клапану видиху шляхом пропускання через нього повітряного потоку з об'ємною швидкістю 300 л/хв. Для визначення опору, обирають чотири фільтри, з яких два – після температурного впливу, а два – після механічного.

8.3 Оцінка впливу на фільтрувальні матеріали температури нагріву

Виходячи з вимог ДСТУ EN 149:2003, виникає необхідність дослідження впливу температури на захисну ефективність фільтрувальних матеріалів. З цією метою були відібрані по декілька зразків (розміром 100x100 мм) з матеріалу ФПП і елефлену, що характеризуються близькою щільністю упакування і опором повітряному потоку.

Методика дослідження полягала у наступному. Термобарокамеру настраювали на температуру нагріву 70 °С (вимога ДСТУ EN 149:2003). Через деякий час, коли режим роботи стабілізувався, в камері розміщували по чотири зразки кожного фільтрувального матеріалу. Першу партію тримали одну годину, другу – дві, третю – три, четверту – чотири, і т. д. Потім зразки витримували при кімнатній температурі 4 години. Ефективність фільтрації витриманих в термокамері фільтрів визначали за коефіцієнтом проникнення парафінового масла. Отримані результати ілюструються Рис. 8.9.

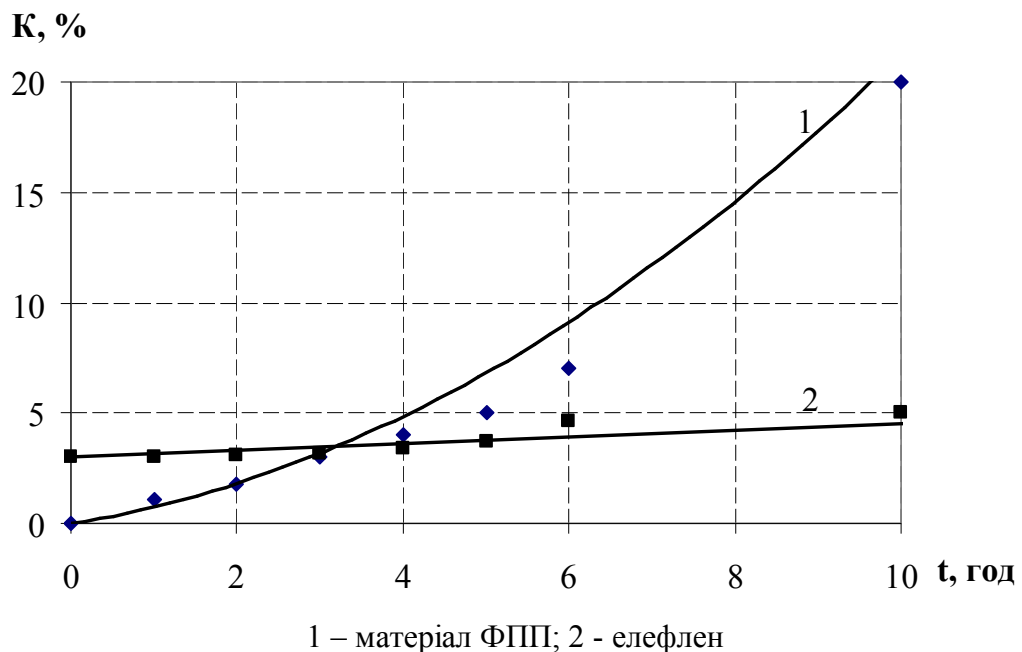


Рисунок 8.9 – Залежність коефіцієнту проникнення фільтруючих матеріалів від часу ізотермічного нагріву $t = 70^{\circ}\text{C}$

Видно, що зі збільшенням часу теплового нагріву коефіцієнт проникнення збільшується. У ФПП ефективність фільтрації під дією нагріву, порівняно з елефленом, знижується. Це пояснюється тим, що волокна дають усадку, що призводить до збільшення неоднорідності фільтрувального шару і, як результат, з'являться місця де різко збільшується швидкість фільтрації. Волокна з елефлену під дією температури починають **вирівнюватись**, пори між ними зменшуються, щільність упакування зростає, проте із-за нерівномірності упакування ефективність фільтрації також знижується, однак у меншій мірі, ніж у ФПП.

В результаті досліджень встановлено, що фільтрувальні властивості матеріалу ФПП характеризуються стійкими показниками тільки до температури

60 °С. Отже, захисна ефективність ЗІЗОД, що визначена після процедури теплової підготовки фільтрів до випробувань, передбаченою новим стандартом, не відповідає вимогам останнього.

8.4 Оцінка механічного впливу на ефективність фільтрації матеріалів

Механічний вплив також відбивається на якості фільтруючих матеріалів. Для дослідження його впливу було взято декілька зразків розміром 100x100 мм, які попередньо згортувались у трубочки, закріплювались в тисках розривної машини РМЗ-1 та піддавались розтягуванню для визначення залежності ефективності фільтрації від відносної деформації розтягання, що визначали за формулою

$$\varepsilon = \Delta L / L,$$

де ΔL – абсолютне подовження зразка відповідно до прикладеного навантаження; L – довжина робочої частини зразка.

Методика виконання досліду щодо виявлення механічного впливу на ефективність фільтрації матеріалів полягала у наступному.

Попередньо підготовлені зразки фільтрувальних матеріалів з однієї партії і близькими значеннями щільності упакування волокон (згорнуті у трубочку) закріплювали в розривній машині РМЗ-1, загальний вигляд якої представлений на Рис. 8.10. Потім прикладали навантаження. Починаючи з 1 Н, фіксували абсолютне подовження зразка і визначали коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем парафінове масло при швидкості фільтрації 1 см/хв. Потім в розривній машині закріплювався новий зразок. Прикладалось навантаження на 1 Н більше ніж для попереднього. Аналогічно фіксувалося абсолютне подовження зразка і визначався коефіцієнт проникнення. Дослідження проводилися до граничного навантаження, що призводило до розриву фільтрувального матеріалу. Результати випробувань наведено на рис. 8.11.

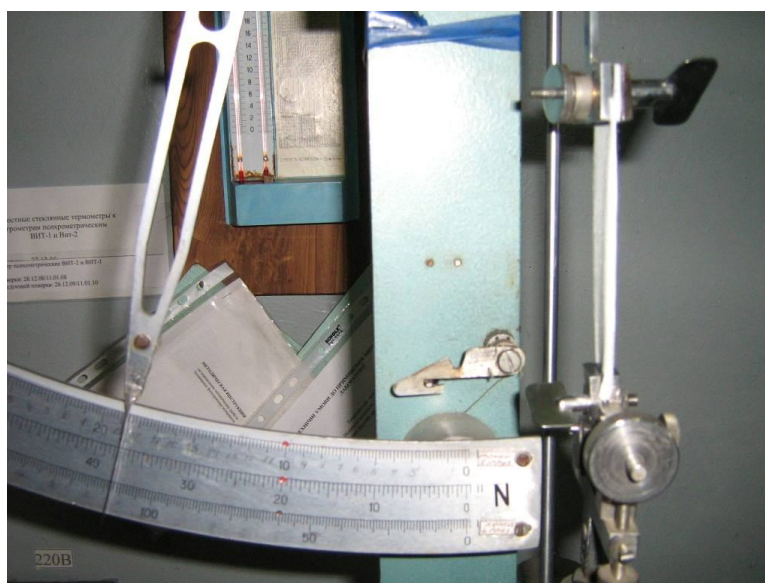


Рисунок 8.10 – Затискання фільтрувального матеріалу на розривній машині РМЗ-1

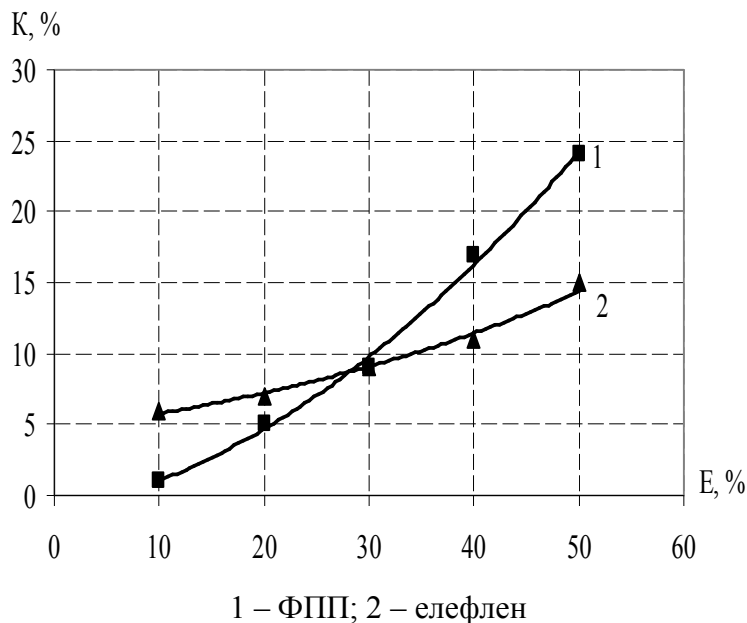


Рисунок 8.11 – Залежність коефіцієнта проникнення фільтрувальних матеріалів від відносної деформації розтягування:

Виявляємо, що ефективність фільтрації матеріалів під впливом розтягування знижується із-за порушення цілісності фільтрувального шару. Особливо це помітно на матеріалі ФПП, для якого характерні малі сили притягання між волокнами та значно менше, ніж у елефлена, розривне навантаження. При цьому дослідження показали, що поліпропіленові фільтруючі матеріали, зокрема елефлен, мають низький опір диханню і порівняно високу ефективність фільтрації. Під механічним і температурним впливом їх захисна якість, на відміну від матеріалів ФПП, змінюється майже у 2,5 рази менше.

8.5 Дослідження ефективності різних конструкцій смуг обтюрації

Раніше було показано, що смуга обтюрації значною мірою визначає якість респіратора. Причому величину коефіцієнта підсосу нефільтрованого повітря півмасок через смугу обтюрації ДСТУ EN 140:2004 регламентує не більше 5 %. Примітно, що ця величина суттєво перевищує коефіцієнт проникнення фільтрувального матеріалу. Тому для підвищення захисної ефективності ЗІЗОД необхідно підвищувати надійність прилягання півмаски до обличчя людини.

На теперішній час існує декілька типів обтюраторів (рис. 8.12), що забезпечують, залежно від ступеня захисту, щільне прилягання півмаски до обличчя людини (за смугою обтюрації). Повне або часткове ущільнення (рис. 8.12 а,б) забезпечується спеціальною еластичною смужкою з пористих матеріалів, наприклад, пінополіуретану, триплексу та ін.. Існують моделі масок, у яких невелика смужка додається тільки навколо перенісся з метою усунення нещільності біля крил носа (рис. 8.12 в). Деякі виробники спеціально потовщують обтюратор у вище згаданій області (рис. 8.12 г). Оригінальні обтюратори мають респіратори “Лепесток” і “Кама” (рис. 8.12 д, е).



а



б



в



г



д



е

а – респіратор Gerson 2943; б – респіратор Gerson 2340; в – респіратор Medlin 24506; г – респіратор MSA Affinity Plus; д – респіратор Кама; е – респіратор Лепесток

Рисунок 8.12 – Типові конструкції смуги обтюрації

З метою виявлення найкращої конструкції та для пошуку шляхів подальшого удосконалення півмасок проведемо оцінку коефіцієнту підсосу у типових моделях респіраторів.

Згадану оцінку проводили у відповідності до вимог ДСТУ EN 149:2003. Методика дослідження полягала у наступному. Відібрані півмаски закріплювали на спеціальній насадці (рис. 8.13) надійно герметизуючи смугу обтюраторії за допомогою гумового кільця.



Рисунок 8.13 – Універсальний зажим

Попередньо підготувавши до роботи установку з тест-аерозолем парафінове масло, визначали коефіцієнт його проникнення через фільтрувальний матеріал респіратора, як описано у параграфі 8.2.1. Потім респіратор закріплювали на муляжі голови в спеціальній камері (рис. 8.14), в яку подавався тест-аерозоль. Визначали коефіцієнт проникнення тепер уже через півмаску, а коефіцієнт підсосу за смугою обтюраторії розраховували за формулою

$$K_{nd} = K_{nn} - K_{nfm},$$

де K_{nd} – коефіцієнт підсосу за смугою обтюраторії; K_{nn} – коефіцієнт проникнення півмаски; K_{nfm} – коефіцієнт проникнення фільтрувального матеріалу півмаски.

Результати дослідження наведені в табл. 8.9.

Таблиця 8.9 – Результати дослідження конструкцій обтюраторів

Марка респіратора	Клас захисту	Коефіцієнт проникнення півмаски, $K_{пм}$, %	Коефіцієнт проникнення фільтрувального матеріалу півмаски, $K_{пфм}$, %	Коефіцієнт підсоосу, $K_{пд}$, %
Лепесток 40	FFP2	9,3	1,54	7,76
Кама 200	FFP2	6,6	1,15	5,45
Gerson 2943	FFP3	3,9	1,71	2,19
Qerson 234T	FFP2	7,9	3,5	4,4
Medlin 24506	FFP1	21,1	10,4	10,7
MSA Affinity Plus	FFP2	8,2	3,1	5,1

Примітка. Наведені результати коефіцієнта проникнення півмасок можуть відрізнятись від реальних, оскільки були отримані на муляжі голови, тоді як ДСТУ EN 149:2003 вимагає оцінювати якість ЗІЗОД на людях. У зв'язку з тим, що при дослідженнях на людях складно підтримувати потрібну витрату повітря (95 л/хв.), було прийнято рішення визначати захисну ефективність на муляжі. При цьому загальна картина проникання аерозолу за смугою обтюрації зберігається, а можливість відтворення постійно однакових умов (чого не можливо забезпечити на людях) дозволяє порівняти різні конструкції обтюраторів.



Рисунок 8.14 – Загальний вигляд установки для випробувань ЗІЗОД на парафіновому маслі

Аналіз отриманих результатів показав, що найкраща конструкція смуги обтюраторної, як і повинно бути, – у респіраторного третього класу захисту. Проте, на деяких вітчизняних півмасках отримані суперечливі результати, зокрема для респіраторного типу “Лепесток”. Так, використанні більш якісного фільтрувального матеріалу при недосконалої конструкції обтюратора, дає гірші результати, у порівнянні з аналогічними типовими респіраторами. Отже, необхідно удосконалювати конструкцію обтюратора респіраторного “Лепесток”.

Відмітимо також, що сегментне покриття смуги обтюраторної (респіратор 3М 9322) дозволило значно підвищити захисну ефективність, у порівнянні, наприклад, з потовщеним в області носа обтюратором (респіратор MSA Affinity Plus FFP2).

8.6 Шляхи підвищення захисної ефективності респіраторного «Лепесток»

8.6.1 Характеристики фільтрувальних матеріалів

Для виготовлення респіраторного типу “Лепесток” були використанні поліпропіленові фільтрувальні матеріали, що відрізняються в основному поверхневою щільністю та діаметром волокон (табл. 8.10).

Таблиця 8.10 – Основні параметри поліпропіленові фільтрувальні фільтрувального матеріалу елфлен

Назва матеріалу	Поверхнева щільність, г/м ²	Опір постійно му потоку повітря зі швидкістю 3 дм ³ /в., Па	Розривне навантаження, Н	Жорсткість матеріалу, см	Відносне подовження матеріалу, %	Діаметр волокон, мкм	Коефіцієнт проникнення, %	
							1 шар	2 шари
Елефлен-40	38-42	3,2	6,0	6,3	50	3-5	4	0,9
ЛЕФЛ ЕН40 М	38-42	3,2	6,0	6,3	50	3-5	4,5	1,1
Елефлен 50	45-55	3,5	7,0	7,5	50	3-7	6	2,5
Елефлен 25	23-27	2,1	6,0	6,3	50	3-5	14	6
Спанбонд	17-20	0,3-0,5	6,0	-	50	7-10	-	-
Спанбонд	25-30	0,5-0,7	6,0	-	50	7-10	-	-
Елефлен 60	58-62	4,8	-	-	50	3-5	5,8	1,9
Елефлен 3М	35-37	4,9	-	-	-	2-4	4,6	1,3
Елефлен 2Е	25-30	2,8	-	-	-	3-6	9,3	3,2
Мелтблоун	38-40	3,8	-	-	-	2-5	6,2	-
Mosten czech	37-44	3,9	-	-	-	-	1,9	0,5

8.6.2 Дослідження експериментальних зразків респіраторів

З наведених в табл. 8.10. фільтрувальних матеріалів виготовлялися спеціальні заготовки діаметром Ø 197-200 мм, які призначались для виготовлення півмасок. Як підкладку використовували медичну марлю, а для покривного шару – спанбонд. Для експериментів були виготовлені одно-, дво- і тришарові респіратори типу “Лепесток”, ідентифікація яких наведена в табл. 8.11.

Таблиця 8.11 – Типи виготовлених зразків респіраторів

Номер зразка	Кількість шарів	Фільтрувальний матеріал	Маркування
1	Два	елефлен 50/ елефлен 2Е	502Е
2	Два	елефлен 60/ елефлен 2Е	602Е
3	Один	елефлен 3М/	3М
4	Два	елефлен 3М/ елефлен 25	3М25
5	Два	елефлен 3М/ елефлен 2Е	M2E
6	Два	елефлен 3М/ елефлен 40	3М40
7	Два	елефлен 3М/ елефлен 50	3М50
8	Три	елефлен 2Е*/елефлен 3М	2Е3М-2
9	Один	елефлен 40	40-1
10	Два	елефлен 40	40-2
11	Три	елефлен 40	40-3
12	Два	елефлен 40/ елефлен 2Е	402Е
13	два	Mosten Czech/елефлен 3М	МС3М
14	Один	елефлен 40 М	40М-1
15	Два	елефлен 40 М	40М-2
16	Три	елефлен 40 М	40М-3
17	Один	елефлен 50	50-1
18	Два	елефлен 50	50-2
19	Три	елефлен 50	50-3
20	Два	елефлен 25/елефлен 40	2540-2
21	Два	елефлен 50/елефлен 40	5040-2
22	Два	елефлен 25/елефлен 40М	2540М
23	Три	елефлен 50/елефлен 40М	5040М
24	Два	елефлен 25/елефлен 50	2550
25	Три	елефлен 25*/елефлен 40	2540-3

*для виготовлення були використані два шари позначеного фільтрувального матеріалу

Для виготовлення респіраторів використовувався напівавтомат КГ-1, загальний вигляд якого представлений на рис. 8.15. Принцип його роботи полягає в переривчастому скріпленні волокнистих термопластичних шарів матеріалу за контуром з додаванням у точки зварювання плавкого термопластичного порошковидного полімеру з наступним термопресуванням одночасно всіх точок

при заданій температурі і тиску. Задача полягала в тому, щоб визначити, при яких значеннях температури і тиску зварні точки будуть найміцнішими. При цьому в точках зварювання не повинні з'являтися дірочки.



Рисунок 8.15 – Напівавтомат КГ-1

У “Випробувальній лабораторії засобів колективного і індивідуального захисту органів дихання НГУ” первісно були визначенні наступні показники:

- коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем – масляний туман (в спеціальній камері) при швидкості фільтрування 30 л/хв за методикою наведеною в ГОСТ 12.4.119-82 “ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Метод оценки защитных свойств по аэрозолям”;

- опір диханню у відповідності ГОСТ 10188-74 “Коробки фильтрующие к противогазам и респираторам. Метод определения сопротивления постоянному потоку воздуха”.

Далі ставилась задача виявити найкращі зразки, які в подальшому можна було б оцінювати на відповідність вимогам ДСТУ EN 149:2003. Результати

випробувань експериментальних зразків респіраторів типу “Лепесток” наведено в табл. 8.12.

Таблиця 8.12 – Основні показки експериментальних респіраторів

Номер зразка	Коефіцієнт проникнення тест-аерозолю масляний туман, К, %	Опір диханню при швидкості фільтрації 30 л/хв, Р, Па
502E	0,85	13,4
602E	0,35	15,6
3М	4,4	8,3
3М25	4,1	9,1
3М2Е	3,2	11,9
3М40	0,4	13,4
3М50	1,8	14,5
2Е3М-2	0,9	15,6
40-1	5,6	4,3
40-2	0,6	10,8
40-3	0,05	15,6
402E	0,8	11,4
МС3М	0,84	17,3
40М-1	6,4	4,5
40М-2	0,9	11,5
40М-3	0,1	15,4
50-1	18,4	5,2
50-2	6,5	11,9
50-3	3,9	16,7
2540-2	8,6	6,4
5040-2	4,3	12,6
2540М	9,7	9,1
5040М	4,9	13,9
2550	14,6	7,8
2540-3	2,6	14,5

Встановлено, що найпридатнішими для промислового виготовлення є моделі 40-2, для другого ступеню захисту, 40-3 – для третього ступеню захисту. Інші зразки експериментальних ЗІЗОД недоцільно виготовляти, оскільки їх показники якості суттєво не відрізняються від відібраних респіраторів, а виробництво пов'язане з додатковими витратами.

8.6.3 Результати дослідження протипилових респіраторів типу „Лепесток” на відповідність вимогам ДСТУ EN 149:2003

Після отримання зразків, які показали найкращий результат, виникла задача перевірити їх на відповідність вимогам стандартів, гармонізованих з європейськими. Особливості цих досліджень викладені в параграфі 8.2.1.

Дослідження виконувались в акредитованій лабораторії засобів колективного і індивідуального захисту працюючих ПМТЗ «Спецнаб» (копія атестата акредитації наведена у додатку).

Для визначення основних технічних характеристик розроблених ЗІЗОД було виготовлено по 35 шт. респіраторів кожного типу. Результати досліджень наведені в протоколах (див. додаток) і зведені в табл. 8.13.

Таблиця 8.13 – Основні показники респіраторів за ДСТУ EN 149:2003

Показники	Значення показників експериментальних зразків		
	2540-2	40-2	40-3
Коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем парафінового масла при витраті 95 л/хв., К, %			
- після отримання;	11,75	5,4	1,1
- після температурного впливу	16,3	6,8	1,8
- після моделювання режиму носіння	13,3	5,2	0,9
Опір постійному повітряному потоку при витраті 95 л/хв., Р, Па,			
- після отримання;	26,4	50,6	110,8
- після температурного впливу	27,1	52,8	118,5
- після моделювання режиму носіння	30,8	59,7	134,2

В результаті співставлення отриманих результатів з вимогами ДСТУ EN 149:2003 виявляємо, що відібрані моделі майже повністю їх задовольняють. Проте для покращення захисної ефективності респіратора третього ступеню захисту, пропонується посилити смугу обтюрації в області перенісся додатковою смужкою з триплексу (рис. 8.16), що зменшує проникнення нефільтрованого повітря в підмасковий простір, як свідчать дані табл. 8.14.



Рисунок 8.16 – Респиратор «Лепесток» з додатковою смужкою з триплексу

Таблиця 8.14 – Коефіцієнт проникнення респиратору з посиленою смугою обтюрації

Показники	Значення
Коефіцієнт проникнення за тест-аэрозолема парафінового масла при витраті 95 л/хв., К, %	
- після отримання;	0,6
- після температурного впливу	1,1
- після моделювання режиму носіння	0,7

Отже, додатковий шар з триплексу, який наклеювався на смугу обтюрації зменшив проникнення нефільтрованого повітря в підмасковий простір. Тому, рекомендується для підвищення надійності захисту респираторами третього ступеню захисту виготовляти їх з посиленням обтюратором.

8.7 Висновки

1. Проаналізована необхідність удосконалення існуючих конструкцій легких півмасок протипилових респираторів. Головна причина – введення в Україні нових стандартів (гармонізованих з європейськими), що регламентують вимоги до виробництва та перевірки якості ЗІЗОД. Вони передбачають спеціальну підготовку респираторів до випробувань. При цьому одна серія зразків піддається на протязі доби температурному впливу при 70°C та -30 °C. Друга серія – проходить «моделювання режиму носіння», шляхом пропускання зволоженого повітря через півмаску, закріплену на муляжі голови. Третя серія зразків

піддається механічному впливу (імітація низькочастотної вібрації) та проходить тест на займистість при 800 °С.

Для перевірки на відповідність ДСТУ EN 149:2003 проведені випробування респіратора „Лепесток-40”, одного з самих розповсюджених на виробництві, що традиційно виготовляється з матеріалу ФПП 15-1,5. Виявлено, що респіратор не відповідає вимогам стандарту щодо коефіцієнта проникнення за тест-аерозолем – парафінове масло та за тестом загоряння виробу. Сформульовані задачі, які необхідно вирішити для покращення конструкції розповсюдженого респіратора, зокрема ШБ-1 „Лепесток”, якість якого задовольняє багатьох споживачів, проте він не можуть бути сертифікований.

2. Проаналізовано методи оцінки захисних властивостей ЗІЗОД за новими стандартами. Апробовані стенди та методики що необхідні для підготовки зразків та проведення відповідних випробувань. Виявлені певні особливості здійснення термічних та механічних впливів, зокрема у термокамері, на вібраторі чи розривній машині, а також проведення випробувань за тест-аерозолями парафінове масло та NaCl.

Експериментально отримані показники респіраторів типу „Лепесток” з матеріалів ФПП та елефлен. Проведений їх аналіз і порівняння. Виявлено, що матеріал ФПП не може піддаватися підготовчим механічним і тепловим впливам, не руйнуючись при цьому. Відносно невеликі зусилля, що витримує цей матеріал, суттєво погіршують його захисну ефективність. Матеріал характеризується стійкими показниками тільки до температури 60 °С. Подальше зростання температури призводить до ущільнення волокон і збільшення аеродинамічного опору, потім – до оплавлення, а при 250 °С – утворення мікророзривів та руйнування структури матеріалу. Отже, сама процедура підготовки до випробувань погіршує захисну ефективність респіратора „Лепесток” з ФПП. Волокна з елефлену під дією температури починають витягуватися, пори між ними зменшуються, щільність упакування зростає, проте із-за нерівномірності упакування ефективність фільтрації також погіршується, однак у меншій мірі, ніж у матеріалів ФПП. В цілому результати проведених експериментів показали, що поліпропіленові фільтруючі матеріали (елефлен) мають низький опір диханню і порівняно високу ефективність фільтрації. Під механічним і температурним впливом їх якість, на відміну від матеріалів ФПП, майже не змінюється.

3. Проведені дослідження ефективності різних конструкцій смуг обтюрації, що значною мірою визначають якість респіратора. Величина коефіцієнта підсосу нефільтрованого повітря півмасок через смугу обтюрації за стандартом не повинна перевищувати 5 %. Проте, ця величина суттєво перевищує реальні значення коефіцієнта проникнення фільтрувального матеріалу. Витікає, що для підвищення захисної ефективності ЗІЗО необхідно підвищувати надійність прилягання півмаски до лица.

Для оптимізації конструкції та пошуку шляхів подальшого удосконалення півмасок проведено експериментальну оцінку коефіцієнту підсосу у типових моделях респіраторів. При цьому відібрані півмаски тестувались на муляжі за тест-аерозолем парафінове масло, що дозволило порівняти різні конструкції обтюраторів, без випробувань безпосередньо на людях. Аналіз результатів

показав, що найкраща конструкція смуги обтюрації – у респіратора третього класу захисту. Виявлено, що при використанні якісного фільтрувального матеріалу, зокрема у респіраторі типу „Лепесток”, але при недосконалій конструкції обтюрації, отримані гірші захисні властивості, у порівнянні з іншими аналогами респіраторів. Показано, що сегментне покриття смуги обтюрації дозволяє підвищити захисну ефективність у порівнянні, наприклад, із застосуванням потовщеного в області носа обтюрації.

4. Встановлено, що перспективними для промислового виготовлення є моделі „Лепесток” 40-2, для другого ступеню захисту, 40-3 – для третього ступеню захисту. Інші зразки експериментальних ЗІЗОД недоцільно виготовляти, оскільки їх показники якості суттєво не відрізняються від відібраних респіраторів, а виробництво пов’язане з додатковими витратами. Для додаткового покращення захисної ефективності респіратора третього ступеню захисту, пропонується посилити смугу обтюрації в області перенісся додатковою смужкою з триплексу, що, як свідчать отримані дані, зменшує проникнення нефільтрованого повітря в підмасковий простір.

Отже, в результаті комбінування різних поліпропіленових фільтрувальних матеріалів для подальшої розробки легкої півмаски типу „Лепесток” рекомендовано три моделі, що найкраще відповідали вимогам гармонізованих стандартів. Отже, до моменту переходу України на європейські стандарти, який відбудеться у 2010 р. запропоновано шляхи доведення технічних характеристик респіратора „Лепесток” до вимог ДСТУ EN 149:2003.

ВИСНОВКИ

При виконанні етапу 1 „Дослідження впливу факторів виробничого середовища на захисні і ергономічні показники засобів індивідуального захисту органів дихання” отримані наступні результати

1. Проаналізовані відомі конструкції вітчизняних респіраторів та намічені шляхи удосконалення конструкцій респіраторів одноразового і багаторазового використання на основі нових фільтруючих матеріалів у вигляді двошарової полотнини з термоскріплених ультратонких поліпропіленових волокон діаметром 1...7 мкм. Ці матеріали утримують високий і стійкий поверхневий електричний заряд, що покращує їх фільтрувальні властивості.

2. Проведена підготовка зразків поліпропіленових фільтруючих матеріалів і дослідження впливу на захисні та ергономічні показники виготовлених з них ЗІЗОД умов, характерних для гірничих виробок вугільних шахт: температури повітря 27...40 °С, відносної вологості 90...100 % та підвищеного, порівняно з поверхнею, на 100 гПа атмосферного тиску, при високих рівнях запиленості повітря. Визначені умови частково відтворювалися на лабораторних стендах із застосуванням тестового аерозолю. Установлено:

- в процесі фільтрації забрудненого повітря захисна ефективність ЗІЗОД підвищується за рахунок збільшення ефективного діаметру волокон та поверхневої щільності фільтрувального матеріалу, внаслідок налипання частинок забруднювача;

- підвищення температури від 27 до 40 °С призводить до збільшення перепаду тиску на ЗІЗОД, за рахунок збільшення в'язкості повітря, приблизно на 10%, а коефіцієнт проникання

частинок через фільтр спочатку збільшується, а потім дещо зменшується, оскільки зростає опір фільтруючих волокон, що ущільнюються;

- перепад тиску на ЗІЗОД під впливом зростаючої вологості збільшується через утворення крапель рідини, що приводять до збільшення ефективного діаметра волокна фільтра;
- поверхнева щільність поліпропіленових фільтрувальних матеріалів при приблизно однаковій товщині шару фільтра коливається в від 43 до 62 г/м².

3. На основі теоретичного аналізу відомих залежностей опору фільтрів від різних факторів виявлено, що для фільтруючих матеріалів з поліпропілену їх застосування не дає правильних значень опору при різних швидкостях фільтрації, оскільки існуюча теорія розроблялась для монодисперсного, а не полідисперсного розподілу діаметрів волокон матеріалу, характерного для фільтрів з поліпропілену.

4. При дослідженні пиломісткості поліпропіленових фільтруючих матеріалів на вугільному пилу, з уточненням на стандартизованому масляному тумані, для згаданих вище умов отримані наступні результати:

- встановлено, що експериментальні значення гідродинамічного опору вищі розрахункових, обчислених за середнім радіусом волокон, оскільки розглянуті фільтруючі матеріали на практиці мають волокна різного розміру: 80...85 % – діаметром 1...5 мкм і 15...20% – діаметром 6...7 мкм;

- уточнені відомі залежності опору поліпропіленових матеріалів від швидкості фільтрації та щільності упакування їх волокон, шляхом уведення поправочного коефіцієнту, обчисленого з урахуванням дисперсії радіусів волокон (для нормального закону розподілу їх імовірності), що забезпечили розходження теоретичних і експериментальних результатів не вище 8 %;

- виявлено, що пиломісткість та опір фільтруючих матеріалів залежать від сумарної поверхні волокон і осілого на волокні пилу, зі збільшенням якого пиломісткість зменшується, оскільки збільшується початковий опір і зменшуються розміри пір між волокнами, що сприяє швидкому забиванню міжволоконного простору частинками, та швидкому росту опору фільтра;

- запропоновано метод визначення пиломісткості фільтруючих матеріалів, що дозволяє дати технічну оцінку довговічності фільтра або респіратору за граничним значенням їх аеродинамічного опору, досягнення якого приводять до фізіологічних змін в організмі людини та швидкої стомлюваності.

В цілому фільтруючі елементи з матеріалів на основі поліпропіленових волокон, мають низький опір, високу пиломісткість при збереженні достатньої жорсткості (твердості) конструкції й ефективності фільтрації.

5. Дослідженням основних механізмів захоплення частинок волокнами встановлено, що при типових швидкостях аспірації (до 0,02 м/с), за рахунок електростатичного ефекту, коефіцієнт проникання для матеріалу з зарядом на волокнах майже у вісім разів менше, ніж у матеріалі без зарядів. Отже пріоритетним є електростатичний механізм уловлювання аерозольних частинок. Дифузійний і інерційний механізми обумовлюють не більше 10 % від сумарного коефіцієнта захоплення, тому при визначенні коефіцієнта фільтрації поліпропіленових матеріалів можна знехтувати їх дією.

6. Показана можливість мінімізації габаритів фільтрувальних коробок респіраторів за рахунок збільшення щільності і зниження товщини фільтруючих шарів при розмірах складок гофрів, підібраних (для усунення змикання в процесі роботи) залежно від якості підкладки, жорсткості фільтруючого матеріалу та швидкості фільтрації, вплив якої на аеродинамічний опір уперше виявлений експериментально. Запропонований метод розрахунку геометричних розмірів фільтруючих елементів.

7. Проведена теоретична оцінка захисної ефективності фільтруючих респіраторів на основі аналізу потоків надходження аерозольних частинок у підмасковий простір. Отримана аналітична залежність коефіцієнта проникання аерозолів через респіратор (K_n) від параметрів фільтруючого елемента і щільності смуги обтюрації, за якою K_n – тим більше, чим більше

співвідношення аеродинамічних опорів фільтруючого елемента і смуги обтюрації. Отже, зі збільшенням опору фільтрів необхідно збільшувати опір смуги обтюрації, інакше респіратори з високоефективними фільтруючими елементами через підвищений опір не забезпечать необхідного класу захисту.

8. Встановлено розподіл механічного тиску респіратора РПА по смугі обтюрації. Реакції сил, котрі виникають при контакті півмаски з обличчям працюючого, в області підборіддя суттєво більші, ніж в області перенісся, що зумовлює зниження захисної ефективності респіратора. Установлені значення напружень, що врівноважують навантаження в області перенісся і підборіддя, забезпечуючи мінімальне проникнення нефільтрованого повітря через нещільності півмаски. Рівномірний розподіл навантажень по смугі обтюрації дозволить застосовувати фільтруючі елементи з підвищеним опором, а значить і більшою захисною ефективністю.

9. Встановлений вплив конструкції півмаски на розподіл повітряного потоку по її площі: чим більше значення теоретично визначеного коефіцієнту $-\lambda$, що враховує основні конструктивні особливості півмаски і параметри фільтруючого шару, тобто певною мірою визначає якість респіратора, тим більше опір півмаски. Для плоского фільтруючого матеріалу λ дорівнює нулю, а перепад тиску на респіраторі залежить тільки від опору фільтруючого шару. Цим і пояснюється різниця в показниках зразків фільтруючого матеріалу і виготовлених з нього ЗІЗОД.

За етапом 2 „Розробка нових легких протипилових конструкцій респіраторів” отримані наступні результати

1. На основі аналізу відомих методів розрахунку основних показників фільтруючих матеріалів розроблений новий метод їх розрахунку за пріоритетними факторами: – захисна ефективність; опір диханню; термін дії. Запропоновано застосовувати багатошарові фільтруючі матеріали, перші шари яких мають низьку щільність упакування, а нижні – високу.

2. Обґрунтовано метод розрахунку параметрів фільтруючих елементів для їх виготовлення з урахуванням типів фільтруючих матеріалів, зокрема для ФПП, елефлен, мелтблоун, на прикладі найбільш поширеного у вугільній і гірничорудній промисловості респіратора РПА-ТД. Рекомендовано виготовляти до нього такі фільтри: з матеріалу мелтблоун – шестискладчасті, з елефлену – п'ятискладчасті, а з ФПП – чотирихскладчасті, проте для більш ефективного використання робочої поверхні фільтрів рекомендовано змінити габаритні розміри фільтрувальної коробки.

3. Розроблено метод розрахунку параметрів конструктивних елементів багатошарових фільтрів для вугільних підприємств, фільтрувальні шари яких відрізняються між собою поверхневою щільністю. Метод адаптувався для гофрованого елемента з елефлену. В результаті випробувань різних варіантів фільтрів, розрахованих за адаптованим методом виявлено, що виконання зовнішнього шару з елефлену з діаметром волокон 5...8 мкм, а внутрішнього 1...4 мкм, збільшує пилемісткість фільтра на 18...20%, а знімання електростатичного заряду з зовнішнього шару, – ще на 11...14 %.

4. Розроблено метод визначення оптимальних радіусів волокон основного й додаткового шарів волокнистих фільтрів. Для типового розподілу дисперсного складу вугільного пилу отриманий оптимальний діаметр волокна попереднього фільтра – 7,5 мкм. Метод дозволяє розраховувати в першому наближенні оптимальні радіуси волокон багатошарових фільтруючих матеріалів, що забезпечують підвищення часу експлуатації фільтра при меншому навантаженні на органи дихання.

5. *Експериментально досліджена ефективність багатошарових фільтруючих елементів з елефлену 5СМ, виробленого у НВП „Стандарт 1” (м. Дніпропетровськ). Встановлено, що пилемісткість багатошарових матеріалів різної щільності волокон на 20...25% вища, ніж одношарового.*

6. Доведена необхідність удосконалення існуючих конструкцій легких півмасок протипилових респіраторів з причини введення в Україні нових стандартів (гармонізованих з

європейськими). Перевірка на відповідність ДСТУ EN 149:2003 респіратора „Лепесток-40” (з матеріалу ФПП 15-1,5), одного з самих розповсюджених на виробництві, виявила його невідповідність вимогам стандарту.

7. Проаналізовано методи оцінки захисних властивостей ЗІЗОД за новими стандартами та апробовані стенди та методики що необхідні для підготовки зразків та проведення відповідних випробувань. Виявлено, що сама процедура підготовки до випробувань по різному впливає на захисну ефективність респіратора „Лепесток” з ФПП та елефлену. Якість останнього, на відміну від матеріалів ФПП, який практично руйнуються, майже не змінюється, що робить елефлен більш перспективним для виготовлення респіратора типу „Лепесток”.

8. Проведені дослідження ефективності різних конструкцій смуг обтюрації ЗІЗОД виявили необхідність підвищення надійності прилягання півмаски до обличчя працюючого. Показано, що найкраща конструкція смуги обтюрації – у типового респіратора третього класу захисту, а у респіратора типу „Лепесток” – гірша. Сегментне ж покриття його смуги обтюрації дозволяє підвищити захисну ефективність у порівнянні, наприклад, із застосуванням потовщеного в області носа обтюратора.

9 Встановлено, що перспективно масово виготовляти моделі для другого ступеню захисту, а для третього виробляти „Лепесток 40”.. Інші зразки експериментальних ЗІЗОД недоцільно виготовляти, як більш витратні. Для додаткового покращення захисної ефективності респіратора типу „Лепесток”, пропонується посилити обтюратор в області перенісся додатковою смужкою з триплексу, що зменшує проникнення нефільтрованого повітря в підмасковий простір.

Додаток А
Министерство образования и науки Украины
Национальная горная академия Украины
**Испытательная лаборатория “Технической экспертизы
средств индивидуальной и коллективной защиты трудящихся”**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной
работе НГА Украины
_____ В.И.Бондаренко
“ ___ ” _____ 2001г.

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ
РНД 37.002-2001 г.

М Е Т О Д И К А

выполнения измерений коэффициента
проницаемости респираторов, фильтрующе-поглощающих
коробок респираторов, фильтров респираторов и
фильтрующих материалов по масляному туману.

Руководитель испытательной
лаборатории ТЭСК и ИЗТ
_____ В.И.Голинько
“ ___ ” _____ 2001г.

Днепропетровск 2001

Информационные данные

1. Разработан и внесен

Испытательной лаборатории “Технической экспертизы средств коллективной и индивидуальной защиты трудящихся” при Национальной горной академии Украины.

2. Разработчик

Заведующий испытательной лаборатории “Технической экспертизы средств коллективной и индивидуальной защиты трудящихся” - Ищенко А.С.

Утвержден проректором по научной работе Национальной горной академии Украины.

Введен в действие приказом № _____ от “ ____ ” _____ 2001г.

4. Введен впервые.

Этот нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован или распространен без разрешения Национальной горной академии Украины.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Нормы погрешности измерений.....	4
2. Средства измерительной техники и вспомогательное оборудование... ..	4
3. Метод измерений.....	4
4. Требования безопасности.....	6
5. Требования к квалификации оператора.....	6
6. Условия измерений.....	6
7. Подготовка к выполнению измерений.....	7
8. Выполнение измерений.....	7
9. Обработка результатов измерений.....	8
10. Оформление результатов измерений.....	9
11. Контроль погрешности МВИ.....	9
Ссылочные нормативные документы.....	11
Приложение 1.....	12
Приложение 2.....	13

Настоящий нормативный документ устанавливает методику выполнения измерений величины коэффициента проницаемости респираторов, фильтрующе-поглощающих коробок респираторов, фильтров респираторов и фильтрующих материалов по масляному туману (МТ), ГОСТ 12.4.028-76, ГОСТ 12.4.119-82, ГОСТ 12.4.156 - 75.

1. Нормы погрешности измерений

Границы в которых основная суммарная относительная погрешность (δ) измерений величины коэффициента проницаемости фильтрующе-поглощающих коробок респираторов и противогазов, фильтров респираторов и фильтрующих материалов по масляному туману (МТ) по ГОСТ 12.4.156-75 "Противогазы и респираторы промышленные фильтрующие" не нормируется. Для респираторов по ТУ ГОСТ 12.4.028-76 "Респираторы ШБ-1 Лепесток" должны соответствовать пределам $\delta \pm 20 \%$ с заданной вероятностью $P = 0,95$.

2 Средства измерительной техники и вспомогательное оборудование

Установка УЛТУ-МТ для определения коэффициента проницаемости респираторов, фильтрующе-поглощающих коробок и фильтров к респираторам. Схема установки приведена на рисунке 1.

2.1 Средства измерительной техники

Фотометр фотоэлектрический для аэрозолей ФАН - У 4.2 (ТУЗ - 3.1590-78)

Расходомеры типа реометров стеклянных (диафрагмы лабораторные стеклянные).

Манометры МТ

Термометр электроконтактный типа ТПК (контрольный) (ГОСТ 9871-75).

2.2 Вспомогательные устройства и материалы.

Стабилизатор давления сжатого воздуха мембранный.

Генератор масляного тумана барботажного типа ТО - 52 (по ГОСТ 10189-75).

Фильтр очистки воздуха первичный.

Смеситель аэрозолей (по ГОСТ 12.4.028-76).

Фильтры очистки обдувочного воздуха (допускается применение противогазовых коробок).

Краны перекрывные, вентили, винтовые зажимы.

Масло турбинное Т₂₂ или Т₃₀ (по ГОСТ 32-74); допускается использование масел турбинных Т_п - 22 или Т_п - 30 (по ГОСТ 9972-74).

3 Метод измерений

Измерение коэффициента проникания выполняют нефелометрическим методом заключающимся в определении отношения концентрации масляного тумана, прошедшего через респиратор, поглощающую коробку, фильтр или фильтрующий материал к концентрации масляного тумана, подаваемого на респиратор, вход фильтрующе-поглощающей коробки или на фильтр (в коробке), которым соответственно пропорциональны величины световых потоков, измеряемые фотометром.

4 Требования безопасности

К работе на установке допускаются лица только после изучения настоящей методики, ТО и ИЭ установки УЛТУ - МТ и инструкции по эксплуатации фотометра фотоэлектрического ФАН.

Все работы связанные с монтажом электрических цепей должны выполняться при отключенной электроэнергии.

Работа на установке должна выполняться при включенной вытяжной вентиляции. Отключение вытяжной вентиляции производят через 20 - 30 минут после выключения туманообразователя.

При загорании на установке тушение производят порошковым огнетушителем ОП - 2,5.

5 Требования к квалификации оператора

5.1 К выполнению измерений и обработке их результатов допускают лиц имеющих высшее или среднее специальное образование технического профиля и прошедших подготовку.

5.2 Оператор должен знать:

- порядок подготовки и проверки установки;
- последовательность выполнения операций при испытаниях;
- методику обработки результатов измерений;
- основные положения ГОСТ 12.4.028 - 76, ГОСТ 12.4.119 - 82, ГОСТ 12.4.156 - 75 и инструкции по эксплуатации установки и фотометра ФАН -У 4.2.

5.3 Оператор должен уметь:

- проверить правильность монтажа воздушных и аэрозольных линий установки;
- отрегулировать расходы МТ и воздуха в требуемых количествах;
- выполнять измерения величины светового потока фотометром;
- выполнять (вести) записи журналов испытаний;
- обрабатывать результаты измерений.

6. Условия измерений.

Особые условия для проведения испытаний не предъявляются.

Измерения на фотометре могут проводиться при температуре окружающего воздуха от 10⁰ С до 35⁰ С, относительной влажности до 80 % и напряжении питания 220±22 В.

Рекомендуемые условия работы: температура $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$, относительная влажность $(65 \pm 15)\%$, напряжение питания $(220 \pm 4,4) \text{ В}$.

7 Подготовка к выполнению измерений.

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы:

- проверяют схему воздушных и аэрозольных линий установки, заправку манометров дистиллированной водой, уровень воды в генераторе МТ;
- включают нагреватель генератора МТ и прогревают до 100°C ;
- проверяют работу вытяжной вентиляции.

Подготовку и проверку фотометра осуществляют в соответствии с его техническим описанием и инструкцией по эксплуатации.

Производят пробный запуск установки и выполняют регулировку воздушных и аэрозольных потоков.

Установка считается подготовленной к проведению испытаний, если параметры аэрозоля соответствуют требуемым, а переключения не влияют на настроенные показания КИП.

8 Выполнение измерений

При выполнении измерений коэффициента проникания масляного аэрозоля через СИЗОД выполняют следующие операции:

1. Включить электропитание генератора МТ и фотометра ФАН и прогреть не менее 0,5 часа.
2. После выхода на температурный режим ТО - 52 подать сжатый воздух на обдув фотометра, смеситель аэрозольный и на ТО - 52.
3. Проверить расходы по воздушным и аэрозольным линиям, а при необходимости произвести дополнительную регулировку потоков.
4. Направить через зажимное устройство (без респиратора или фильтра) поток МТ и по шкале микроманометра установить отсчет $I_{90} = 250 \pm 7,5 \text{ мкА}$.
5. Переключив переключатель призмы в положение 90° снять отсчеты I_{11} и I_{\perp} для контроля дисперсности исходного аэрозоля.
6. Отключить подачу МТ и направить через фотометр чистый воздух. Через 2 - 3 минуты измерить I_{cc} .
7. Установить в зажим испытуемый образец (респиратор, фильтрующая коробка, фильтр в коробке, фильтрующий материал) и направить МТ через зажим в фотометр. Переключая переключатель плотности неизбирательных поглотителей вывести стрелку миллиамперметра по шкале и снять отсчет I_{3A} , мА.

Результаты измерений записываются в журнал по форме Приложения 1.

9 Обработка результатов измерений

Обработку результатов измерений выполняют способом расчета коэффициента проникания респиратора, коробок, фильтра или фильтрующего материала по формуле приведенной в ГОСТ 12.4.156 - 76.

$$K = \frac{I \cdot 10^D - I_{cc}}{I_0 \cdot 10^{D_0}} 100, \%;$$

где I , I_{cc} и I_0 - соответственно отсчеты по шкале микроамперметра фотометра при измерении светового потока, рассеиваемого аэрозолем, прошедшим через коробку или респиратор, чистым воздухом и исходным аэрозолем.

D, D_0 - сумма оптических плотностей нейтральных световых фильтров, устанавливаемых на пути световых потоков при измерении соответственно I, I_0 .

Для определения усредненных показателей коэффициента проникания $K, \%$ распространяющихся на выборку из n изделий (число испытываемых изделий регламентируется НД на продукцию) вычисляют следующие показатели:

- выборочное среднее \hat{E} по формуле

$$\hat{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{E}_i, \%,$$

где n - количество испытанных изделий,

K_i - коэффициент проникания масляного аэрозоля i -го изделия, %;

- среднеквадратичное отклонение S ,

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{E}_i - \hat{E})^2}$$

- соотношение U_{max} или U_{min} по формулам:

$$U_{max} = (\hat{E}_{max} - \hat{E}) / S$$

$$U_{min} = (\hat{E} - \hat{E}_{min}) / S$$

где K_{max}, K_{min} - максимальное, минимальное значение коэффициента проникания МТ из выборки.

Полученное значение U сравнивают с величиной β , найденной по таблице для данного объема выборки n и принятого уровня значимости $\alpha=0,05$.

Предельные значения β приведены в таблице 1 приложения 2.

Если $U_{max} \geq \beta$ или $U_{min} \geq \beta$, результат наблюдения K_{max} или K_{min} , соответственно, аномален и должен быть исключен из выборки. В противном случае результат считают нормальным и не исключают. После исключения аномального значения для оставшихся результатов вычисляют \hat{E}' и S' .

Среднее квадратичное отклонение $S_{\hat{E}}$ результата измерения оценивают по формулам

$$S_{\hat{E}} = S / \sqrt{n} \quad \text{или} \quad S'_{\hat{E}} = S' / \sqrt{n-1}$$

Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности результата измерения находят по формуле:

$$\varepsilon = t S_{\hat{E}}$$

где t - коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности P и числа результатов наблюдений n находят по таблице 2 приложения 2.

10 Оформление результатов измерений

Результат измерения представляют в форме

$$\hat{E} = \bar{E} \pm \varepsilon, \%, P;$$

где P - доверительная вероятность, принимаемая равной 0,95.

Расчеты статистических показателей выполняются в журнале (Приложение 1).

Результаты измерений оформляют протоколом в соответствии с требованиями ДСТУ 3412 - 96.

11 Контроль погрешности МВИ

Оперативный контроль погрешности МВИ осуществляется каждый раз перед началом измерений путем визуального осмотра правильности монтажа схемы установки, подготовки средств измерительной техники к работе при этом производится дозаправка манометра рабочей жидкостью и генератора МТ маслом, а также установка НУЛЯ мкА фотометра . Производится проверка герметичности линий установки путем пробного запуска и омыление узлов соединений воздухопроводов со средствами измерительной техники и устройствами входящими в состав установки.

Периодический контроль погрешности МВИ осуществляется раз в год при выполнении работ по аттестации установки. Он предусматривает выполнение регламентных работ по обслуживанию установки и фотометра, а также проверки и корректировки чувствительности фотометра. Работы выполняются в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации фотометра фотоэлектрического для аэрозолей (ФАН)

Разработчик

А.С. Ищенко

Ссылочные нормативные документы

- 1.ГОСТ 80.010-90 ГСИ. Методики выполнения измерений.
- 2.ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений.
- 3.ГОСТ 12. 4.156-75 Противогазы и респираторы промышленные фильтрующие. Методы испытаний.
4. Фильтры РПА ТУ Украины 25513947.001 – 98
5. Фильтрующий материал "ФПП 15-1,5" ТУ 6-16-2571-85
6. Фильтрующий материал "Элефлен" ТУ 25513947.010-2000
7. ТУ ГОСТ 12.4.028-76 "Респираторы ШБ-1 Лепесток"

на проницаемость МТ.

Дата испытаний" _____ " _____ 200__ г

ФАН-№ _____
 включен _____
 выключен _____
 Время работы _____ час

Условия испытаний:
 Психрометр МВ-4м № _____
 $t_c =$ _____;
 $t_m =$ _____
 Влажность _____, %

Контроль работы установки МТ.

Контроль №	Ток собственного светорассеяния (призма 45°) I_{cc} , мкА на поддиапазонах		Настройка чувствительности по аэрозолю $I_{до}$		Контроль дисперсности аэрозоля (призма "90"), мкА $I_{до}$ при положениях поляроида			
	0	1	I , мкА	Д	$I_{ }$	Д	I_{\perp}	Д
1								
2								
3								

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ (ИСПЫТАНИЙ).

№ п/п	Номер (шифр) фильтра	Ток фотометра I , поддиапазон измерения, Д		Коэффициент проницаемости аэрозоля K , %	Примечание
		I , мкА	Д		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					

Приложение 2
 Таблица 1

Предельные значения β для случая неизвестного генерального

среднего квадратического отклонения ♦

Объем выборки n	Предельные значения β при уровне значимости α				Объем выборки n	Предельные значения β при уровне значимости α			
	0,100	0,075	0,050	0,025		0,100	0,075	0,050	0,025
3	1,15	1,15	1,15	1,15	12	2,13	2,20	2,29	2,41
4	1,42	1,44	1,46	1,48	13	2,17	2,24	2,33	2,47
5	1,60	1,64	1,67	1,72	14	2,21	2,28	2,37	2,50
6	1,73	1,77	1,82	1,89	15	2,25	2,32	2,41	2,55
7	1,83	1,88	1,94	2,02	16	2,28	2,35	2,44	2,58
8	1,91	1,96	2,03	2,13	17	2,31	2,38	2,48	2,62
9	1,98	2,04	2,11	2,21	18	2,34	2,41	2,50	2,66
10	2,03	2,10	2,18	2,29	19	2,36	2,44	2,53	2,68
11	2,09	2,14	2,23	2,36	20	2,38	2,46	2,56	2,71

Таблица 2

Значение коэффициента t для случайной величины Y ,
имеющей распределение Стьюдента с $n-1$ степенями свободы.

n-1	P=0,95	P=0,99	n-1	P=0,95	P=0,99
3	3,182	5,841	16	2,120	2,921
4	2,776	4,604	18	2,101	2,878
5	2,571	4,032	20	2,086	2,845
6	2,447	3,707	22	2,074	2,819
7	2,365	3,499	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	26	2,056	2,779
9	2,262	3,250	28	2,048	2,763
10	2,228	3,169	30	2,043	2,750
12	2,179	3,055	∞	1,960	2,576
14	2,145	2,977			

Додаток Б

Министерство образования и науки Украины
Национальная горная академия Украины

**Испытательная лаборатория “Технической экспертизы
средств индивидуальной и коллективной защиты трудящихся”**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной
работе НГА Украины
_____ В.И.Бондаренко
“ ___ ” _____ 2001г.

РУКОВОДЯЩИЙ НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ
РНД 37.001-2001 г.

М Е Т О Д И К А

выполнения измерений сопротивления постоянному потоку воздуха
фильтрующих коробок к противогазам и респираторам, респираторов, фильтров
респираторов и фильтрующих материалов.

Руководитель испытательной
лаборатории ТЭСК и ИЗТ
_____ В.И.Голинько
“ ___ ” _____ 2001г.

г. Днепропетровск
2001 г

Информационные данные

1. Разработан и внесен

Испытательной лаборатории “Технической экспертизы средств коллективной и индивидуальной защиты трудящихся” при Национальной горной академии Украины.

2. Разработчик

Заведующий испытательной лаборатории “Технической экспертизы средств коллективной и индивидуальной защиты трудящихся” - Ищенко А.С.

Утвержден проректором по научной работе Национальной горной академии Украины.

Введен в действие приказом № _____ от “ ____ ” _____ 2001г.

4. Введен впервые.

Этот нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован или распространен без разрешения Национальной горной академии Украины.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Нормы погрешности измерений.....	4
2. Средства измерительной техники и вспомогательное оборудование...	4
3. Метод измерений.....	5
4. Требования безопасности.....	5
5. Требования к квалификации специалистов.....	6
6. Условия измерений.....	6
7. Подготовка к выполнению измерений.....	7
8. Выполнение измерений.....	7

9.Обработка результатов измерений.....	8
10.Оформление результатов измерений.....	9
11. Контроль погрешности МВИ.....	9
Ссылочные нормативные документы.....	10
Приложение 1.....	11
Приложение 2.....	12
Приложение 3.....	13

РНД 37.001-2001 г

Настоящий документ устанавливает методику выполнения измерений величины сопротивления фильтрующих коробок противогазов и респираторов, фильтров респираторов, фильтрующих материалов и респираторов с фильтрующей лицевой частью постоянному потоку воздуха по ГОСТ 10188-74 с общим расходом воздуха через СИЗОД 30 дм³/мин.

1 Нормы погрешности измерений

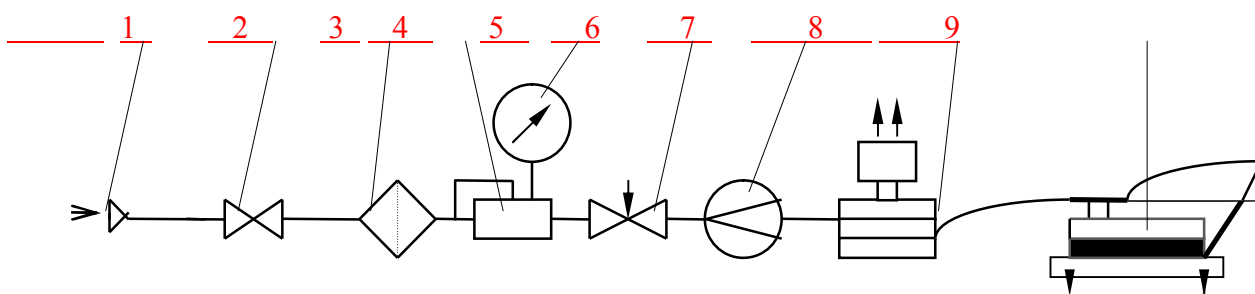
Границы в которых основная суммарная относительная погрешность (δ) измерений сопротивления постоянному потоку воздуха фильтрующих коробок к противогазам и респираторам, фильтров респираторов и фильтрующих материалов по ГОСТ 10188-74 "Коробки фильтрующие к противогазам и респираторам. Метод определения сопротивления постоянному потоку воздуха", должны соответствовать пределам $\delta \pm 3,5 \%$ с заданной вероятностью $P = 0,95$. Для респираторов по ТУ ГОСТ 12.4.028-76 "Респираторы ШБ-1 Лепесток" должны соответствовать пределам $\delta \pm 10 \%$ с заданной вероятностью $P = 0,95$.

2 Средства измерительной техники и вспомогательное

оборудование

Установка для определения сопротивления респираторов, фильтрующих коробок и фильтров респираторов (УКС-1, рис. 1).

Схема установки УКС-1



1-вход от линии сжатого воздуха, 2-перекрывной вентиль,
3-фильтр очистки воздуха, 4-стабилизатор давления, 5-манометр,
6-регулирующий вентиль, 7-расходомер, 8-зажим для испытуемого изделия,
9-микроманометр.

РНД 37.001-2001 г

2.1 Средства измерительной техники

Микроманометр жидкостной компенсационный с микрометрическим винтом типа МКВ-150 по ГОСТ 11161-84 класса точности 0,02 или другой прибор с погрешностью не более $\pm 2\%$ от измеряемой величины.

Барометр-анероид метрологический БАММ-1 по ТУ 2504-1618-72 с основной и дополнительной погрешностью не превышающей ± 200 Па и ± 500 Па соответственно или любой другой с погрешностью измерения не более ± 2 мм.рт.ст.

Диафрагма лабораторная стеклянная с погрешностью измерения не более $2,5\%$ от измеряемой величины (3, 15, 30) $\text{дм}^3/\text{мин}$.

2.2 Вспомогательное оборудование

Фильтр очистки сжатого воздуха (противогазовая коробка с противо-аэрозольным фильтром).

Стабилизатор давления сжатого воздуха мембранный.

Зажимы для установки фильтров, фильтрующих коробок и респираторов.

Эквиваленты сопротивления изделия для (3, 15, 30) $\text{дм}^3/\text{мин}$.

2.3 Расходные материалы

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709-72.

Спирт этиловый технический по ГОСТ 17299-78.

3 Метод измерений

Метод основан на измерении разности давлений на входе и выходе из коробки (зажима) при прохождении через нее постоянного потока воздуха, расход которого установлен ГОСТ или НД (технической документацией), утвержденной в установленном порядке. При испытаниях коробок для противогазов и респираторов с одним фильтрующим элементом принимают расход 30 дм³/мин, а для противогазов и респираторов с двумя элементами – 15 м³/мин.

При испытаниях фильтрующих материалов расход воздуха устанавливается таким, чтобы скорость фильтрации соответствовала требованиям НД.

4 Требования безопасности

4.1. При выполнении измерений сопротивления специальные требования безопасности не предъявляются.

РНД 37.001-2001 г

4.2 К работе на установках допускаются лица прошедшие обучение, ознакомившиеся с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации, ГОСТ 10188-74 “Коробки фильтрующие к противогазам и респираторам. Метод определения сопротивления постоянному потоку воздуха.”

4.3 При эксплуатации установки необходимо выполнять правила безопасной работы со сжатым воздухом.

5 Требования к квалификации операторов

5.1 К выполнению измерений и обработке их результатов допускаются лица имеющие высшее или среднее специальное образование технического профиля и прошедших специальную подготовку.

5.2 Оператор должен знать:

- порядок подготовки и проверки установки;
- последовательность выполнения операций при испытаниях фильтров, респираторов и фильтрующих коробок;
- методику обработки результатов измерений;
- положения ГОСТ 10188-74 и инструкции по эксплуатации установки;
- инструкции по эксплуатации микроманометров МКВ-150 и ММН-240, барометра анероида БАММ-1, психрометра МВ-4м.

5.3 Оператор должен уметь:

- проверить правильность монтажа воздушных линий установки;
- выполнять измерения перепада давления при помощи МКВ-150 или ММН-240;
- выставить режим работы обеспечивающий расход воздуха через проверяемое СИЗОД 15 л/мин или 30 л/мин;

- вести журналы испытаний;
- обрабатывать результаты измерений.

6 Условия измерений

Особые условия для проведения испытаний не предъявляются. Для учета влияния параметров окружающей среды (температура, атмосферное давление и т. д.) на результаты измерений, параметры атмосферы измеряются и записываются в журнал наблюдений. Если температура воздуха при испытаниях отличается от $(20 \pm 2) ^\circ \text{C}$, а атмосферное давление от $(760 \pm 5) \text{ мм. рт. ст.}$, то в расчетную формулу вводится поправочный коэффициент.

РНД 37.001-2001 г

7 Подготовка к выполнению измерений

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы:

- проверка схемы воздушных линий установки согласно рис.1;
- проверка заправки манометра пневмометрической жидкостью (спирт, вода дистиллированная) и установка его в горизонтальное положение;
- проверка установки нуля прибора или снятие “0-го” отсчета;
- установка шкалы U образного манометра соответствующей измерительной диафрагмы с расходом 15 или 30 $\text{дм}^3/\text{мин}$;
- пробный запуск установки и выставление требуемого расхода воздуха через зажим (15 или 30 $\text{дм}^3/\text{мин}$);
- измеряют величину атмосферного давления и температуру окружающего воздуха;
- проверяют исправность установки путем установки эквивалентного сопротивления в зажим, регулировки заданного расхода и определения сопротивления ;
- сравнивают полученные значения с данными свидетельства на сопротивление.

Установка считается готовой к проведению измерений, если расход воздуха остается постоянным и регулируется в пределах регламентированных данной МВИ, отклонение сопротивления не превышает $\pm 0,7 \text{ мм.вод.ст.}$

8 Выполнение измерений

При выполнении измерений сопротивления СИЗОД постоянному воздушному потоку выполняют следующие операции:

1. Измеряют температуру воздуха и барометрического давления;
2. Открывают вентиль 2.
3. Стабилизатором давления 4 и регулирующим вентилем 6 выставляют расход воздуха 15 или 30 $\text{дм}^3/\text{мин}$.
4. При закрытом зажиме (без респиратора или с коробкой без фильтра) определяют начальное сопротивление R_0 путем измерения перепада давления на микроманометре 9 (выполняется перед измерением).
5. В зажим 8 устанавливается респиратор (Лепесток) или фильтрующая коробка с фильтром и измеряется перепад давления (сопротивление).
6. Измерение перепада давления микроманометрами ММН - 240 или

МКВ - 150, температуры психрометром МКВ - 4м и атмосферного давления барометром анероидом БАММ - 1 выполняют согласно технической документации на эти приборы.

РНД 37.001-2001 г

7. Результаты измерений заносятся в журнал по форме Приложения 1.

9 Обработка результатов измерений

Обработку результатов измерений выполняют способом расчета сопротивления респиратора, коробки или фильтра по формулам приведенным в ГОСТ 10188-74.

Искомое сопротивление R испытуемой коробки или респиратора вычисляют по формуле:

$$R = 9.81(R_1 - R_0)K_1, \text{ Па};$$

где R_1 - измеренное значение, мм. вод. ст.;

R_0 - собственное сопротивление микроанометра, мм.вод. ст;

K_1 - поправочный коэффициент на температуру и давление при определении сопротивления (приложение 3).

Для определения усредненных показателей сопротивления распространяющихся на выборку из n изделий (количество испытуемых изделий определяется НД) определяют следующие показатели:

– выборочное среднее \bar{R} по формуле

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i, \text{ Па},$$

где n - количество испытанных изделий,

R_i - сопротивление каждого i - го изделия, Па;

– среднеквадратичное отклонение S ,

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$$

– соотношения U_{\max} или U_{\min} по формулам :

$$U_{\max} = (R_{\max} - \bar{R}) / S$$

$$U_{\min} = (\bar{R} - R_{\min}) / S$$

где R_{\max} , R_{\min} - максимальное, минимальное значение сопротивления из выборки.

Полученное значение U сравнивают с величиной β , найденной по таблице для данного объема выборки n и принятого уровня значимости $\alpha=0,05$.

Предельные значения β приведены в таблице 1 приложения 2.

Если $U_{\max} \geq \beta$ или $U_{\min} \geq \beta$, результат наблюдения R_{\max} или R_{\min} , соответственно, аномален и должен быть исключен из выборки. В противном случае результат считают нормальным и не исключают. После исключения аномального значения для оставшихся результатов вычисляют \bar{R}' и S' .

РНД 37.001-2001 г

Среднее квадратичное отклонение $S_{\bar{R}}$ результата измерения оценивают по формулам

$$S_{\bar{R}} = S/\sqrt{n} \quad \text{или} \quad S'_{\bar{R}} = S'/\sqrt{n-1}$$

Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности результата измерения находят по формуле:

$$\varepsilon = t S_{\bar{R}}$$

где t - коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности P и после результатов наблюдений n находят по таблице 2 приложения 2.

10 Оформление результатов измерений

Результат измерения представляют по форме

$$R = \bar{R} \pm \varepsilon, P;$$

где P - доверительная вероятность, принимаемая равной 0,95.

Расчеты выполняются в журнале (Приложение 1).

Результаты измерений оформляют протоколом в соответствии с требованиями ДСТУ 3412 - 96.

11 Контроль погрешности МВИ

Оперативный контроль погрешности МВИ осуществляется каждый раз перед началом измерений путем визуального осмотра правильности монтажа схемы установки, подготовки средств измерительной техники к работе при этом производится дозаправка манометра рабочей жидкостью и установка в рабочее положение по уровню микроманометра МКВ-150. Производится проверка герметичности линий установки путем пробного запуска и омыление узлов соединений воздухопроводов со средствами измерительной техники и устройствами входящими в состав установки.

Периодический контроль осуществляется один раз в год. Он заключается в следующем: устанавливают эквивалент сопротивления изделия в зажим 8 (см. схему установки), на расходомере 7 устанавливают расход, указанный в свидетельстве на эквивалент, с учетом поправок на температуру и давление и измеряют сопротивление.

На исправной установке отклонение сопротивления от указанного в свидетельстве на эквивалент сопротивления изделия не должно превышать $\pm 0,7$ кгс/м².

Исполнитель:

Ищенко А.С.

РНД 37.001-2001 г

Ссылочные нормативные документы

1. ГОСТ 8.010-90 ГСИ. Методики выполнения измерений.
2. ГОСТ 8.207-76 ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений.
3. ГОСТ 10188-74 Коробки фильтрующие к противогазам и респираторам. Метод определения сопротивления постоянному потоку воздуха.
4. Фильтры РПА ТУ Украины 25513947.001 – 98
5. Фильтрующий материал "ФПП 15-1,5" ТУ 6-16-2571-85
6. Фильтрующий материал "Элефлен" ТУ 25513947.010-2000

7. ТУ ГОСТ 12.4.028-76 "Респираторы ШБ-1 Лепесток"

РНД 37.001-2001 г

Приложение 1

Форма журнала измерений

Дата испытаний " _____ " _____ 200__ г

Условия испытаний:

Барометр № _____

 $P_a =$ _____ кПа

Манометр № _____

Расход воздуха $Q =$ _____ л/мин

Психрометр МВ-4м № _____

 $t_c =$ _____ °С $t_m =$ _____ °СВлажность φ _____ %Исходные данные.

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ (ИСПЫТАНИЙ).

Результаты измерений					Результаты статистической обработки
№ п/п	Номер (шифр) фильтра	n_0 мм.вод. ст.	n_i мм.вод. ст.	R, Па	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

РНД 37.001-2001 г

Приложение 2

Таблица 1

Предельные значения β для случая неизвестного генерального
среднего квадратического отклонения ♦

Объем выборки n	Предельные значения β при уровне значимости α				Объем выборки n	Предельные значения β при уровне значимости α			
	0,100	0,075	0,050	0,025		0,100	0,075	0,050	0,025
3	1,15	1,15	1,15	1,15	12	2,13	2,20	2,29	2,41
4	1,42	1,44	1,46	1,48	13	2,17	2,24	2,33	2,47
5	1,60	1,64	1,67	1,72	14	2,21	2,28	2,37	2,50
6	1,73	1,77	1,82	1,89	15	2,25	2,32	2,41	2,55
7	1,83	1,88	1,94	2,02	16	2,28	2,35	2,44	2,58
8	1,91	1,96	2,03	2,13	17	2,31	2,38	2,48	2,62
9	1,98	2,04	2,11	2,21	18	2,34	2,41	2,50	2,66
10	2,03	2,10	2,18	2,29	19	2,36	2,44	2,53	2,68
11	2,09	2,14	2,23	2,36	20	2,38	2,46	2,56	2,71

Таблица 2

Значение коэффициента t для случайной величины Y ,
имеющей распределение Стьюдента с $n-1$ степенями свободы.

$n-1$	$P=0,95$	$P=0,99$	$n-1$	$P=0,95$	$P=0,99$
3	3,182	5,841	16	2,120	2,921
4	2,776	4,604	18	2,101	2,878
5	2,571	4,032	20	2,086	2,845
6	2,447	3,707	22	2,074	2,819
7	2,365	3,499	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	26	2,056	2,779
9	2,262	3,250	28	2,048	2,763
10	2,228	3,169	30	2,043	2,750
12	2,179	3,055	∞	1,960	2,576
14	2,145	2,977			

Приложение 3

Таблица поправок на температуру и давление при определении сопротивления

Давление Па	Значение коэффициента K_1 при температуре $^{\circ}\text{C}$						
	16	18	20	22	24	26	28
97,3	0,996	0,989	0,982	0,975	0,968	0,961	0,954
97,9	0,999	0,992	0,985	0,978	0,971	0,964	0,957
98,6	1,002	0,995	0,988	0,981	0,974	0,967	0,960
99,3	1,005	0,998	0,991	0,984	0,977	0,970	0,963
99,9	1,008	1,001	0,994	0,987	0,980	0,973	0,966
100,6	1,011	1,004	0,997	0,990	0,983	0,976	0,969
101,3	1,014	1,007	1,000	0,993	0,986	0,979	0,972
101,9	1,017	1,010	1,003	0,996	0,986	0,982	0,975
102,6	1,02	1,013	1,006	0,999	0,992	0,985	0,978
103,3	1,023	1,016	1,009	1,002	0,995	0,988	0,981

Додаток В

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО ПМТС
«Спецнаб»
В.А. Заярнюк

«_____» _____ 2008

ПРОТОКОЛ

**испытаний опытных респираторов противоаэрозольных
типа «Лепесток-О» производства фирмы
ООО НПП «Стандарт-2» (г. Днепропетровск)
(заявитель – ООО НПП «Стандарт-2»)**

Протокол испытаний касается только образцов, подвергнутых испытаниям. Протокол содержит 12 страниц. Частичная перепечатка протокола недопустима.

1. МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Испытания проводились в Испытательной лаборатории технической экспертизы средств коллективной и индивидуальной защиты органов дыхания ООО ПМТС «Спецнаб» (аттестат аккредитации НААУ 2Т127 от 22.09.08), г. Днепропетровск, ул. Винокурова, д. 1, т. 374-05-79, e-mail: specsnaб@optima.com.ua.

2. ОТБОР ОБРАЗЦОВ

Образцы опытных респираторов представлены на испытания в количестве, указанном в таблице 1:

Таблица 1

Отбор образцов

Наименование респиратора	Класс	Артикул	Количество, шт.	
			Для испытаний	Для контрольных образцов
«Лепесток-О1» (1 слой)	FFP1	-	31	1
«Лепесток-О2» (2 слоя)	FFP2	-	31	1
«Лепесток-О3» (3 слоя)	FFP3	-	31	1

3. ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

На основании требований ДСТУ EN 149 и ГОСТ 12.4.028-76 Испытательная лаборатория технической экспертизы средств коллективной и индивидуальной защиты

органов дыхания ООО ПМТС «Спецнаб» провела испытания респираторов типа «Лепесток-О» по следующим показателям, приведенным в табл. 2.:

Таблица 2

Перечень показателей, проверяемый при испытаниях респираторов

Наименование показателя	Пункт требований	Число образцов
Визуальный осмотр	ГОСТ п. 2.1-2.3/ ДСТУ п. 7.3	Все
Основные размеры	ГОСТ п. 1.2	10*
Масса	ГОСТ п. 2.4	10*
Механическая прочность сварного шва респиратора лент	ГОСТ п. 2.7 ГОСТ п. 2.6	3 (из 10) 3 (из 10)
Коэффициент проникания		
-через фильтрующую полумаску (респиратор)	ДСТУ п. 7.9.1	10
-через фильтр на насадке	ДСТУ п. 7.9.2	9
-через фильтр в зажиме	ГОСТ п. 2.5	10
Сопротивление дыханию		
на муляже головы	ДСТУ п. 7.16	9
в плоском зажиме	ГОСТ п. 2.5	10
Эксплуатационные свойства	ДСТУ п. 7.7	2

4. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Испытания респираторов проводились по следующим методикам изложенным в ДСТУ EN 149:2003 Півмаски фільтрувальні для захисту від аерозолів. Вимоги, Випробування, маркування и ГОСТ 12.4.028-76 Респираторы ШБ-1 «Лепесток». Технические условия, приведенные в таблице 3:

Таблица 3

Наименование показателя	Пункт и вид испытаний
Визуальный осмотр	ГОСТ п. 2.1-2.3/ ДСТУ п. 8.2
Основные размеры	ГОСТ п. 1.2
Масса	ГОСТ п. 2.4
Механическая прочность сварного шва респиратора лент	ГОСТ п. 2.7 ГОСТ п. 2.6
Коэффициент проникания	
-через фильтрующую полумаску (респиратор)	8.5 ДСТУ EN 149
-через фильтр на насадке	8.11 ДСТУ EN 149
-через фильтр в зажиме	РНД 37.002-2001
Сопротивление дыханию	
на муляже головы	8.9 ДСТУ EN 149
в плоском зажиме	РНД 37.001-2001
Эксплуатационные свойства	8.4 ДСТУ EN 149
Содержание диоксида углерода	8.7 ДСТУ EN 149

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

5.1. Визуальный осмотр

Респираторы типа «Лепесток-О» по внешнему виду соответствуют нормативной документации. Фильтрующий материал респираторов не содержит твердых включений размером более 1мм, сквозных отверстий, проколов, поверхность не имеет загрязнения. Сварные точки на точечном шве не имеют отверстий, трещин, недоваров, обугливания.

5.2. Основные размеры и масса

Основные геометрические размеры представленных респираторов «Лепесток-О» приведены в табл. 4

Таблица №4

№ п/п	Диаметр респиратора, мм	Длина по ленте, мм	Ширина ленты, мм	Длина резинового шнура, мм		Длина лент от сварных точек, мм	
				левый	правый	левый	правый
«Лепесток-О1»							
2	206	928	18	15	17	10	11
3	205	923	19	18	13	11	10
4	205	934	18	17	16	11	12
5	205	931	19	14	17	10	11
6	205	927	18	19	15	12	10
7	206	926	18	15	16	11	10
8	205	939	18	15	20	11	10
9	205	920	19	14	15	10	11
10	205	944	19	18	17	10	11
11	205	923	18	16	16	11	10
«Лепесток-О2»							
2	205	930	19	16	16	10	11
3	205	931	18	16	15	10	10
4	206	924	18	14	17	10	10
5	205	945	18	19	15	11	11
6	206	933	19	17	19	11	12
7	205	928	18	15	16	11	10
8	205	925	18	16	15	10	11
9	205	932	18	15	18	11	10
10	205	922	19	18	14	10	11
11	206	929	18	17	19	11	10
«Лепесток-О3»							
2	205	924	18	19	18	11	10
3	206	935	19	15	16	10	11
4	206	928	19	15	15	11	10
5	206	921	18	15	17	11	12
6	205	939	18	18	15	10	10
7	205	944	18	16	16	10	11
8	205	922	18	15	19	11	10
9	205	927	19	17	19	10	10
10	206	934	18	14	15	10	10
11	205	920	18	15	17	10	10

Масса респираторов приведена в табл. 5

Таблица №5

№ п/п	«Лепесток-О1»	«Лепесток-О2»	«Лепесток-О3»
2	7,4	7,8	8,0
3	7,6	7,6	7,8
4	7,6	7,8	8,0
5	7,2	7,8	8,4
6	7,4	7,4	8,2
7	7,8	7,6	8,2
8	7,4	7,8	7,8
9	7,4	7,8	8,4
10	7,6	7,6	8,0
11	7,4	7,6	8,2

5.3. Механическая прочность

Требования: ГОСТ 12.4.028-76

Механическая прочность шва на разрыв в сварных точках должна быть не менее 1 Н.

Механическая прочность респиратора на разрыв вдоль распорки и ее лучей в каждом из трех направлений и прочность крепления лент должна быть не менее 15 Н.

Механические прочности респираторов типа «Лепесток-О» приведены в таблице №6.

Таблица №6

Механическая прочность респираторов «Лепесток-О1»

№ п/п	По ленте	По точкам							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	21,5	2,9	2,8	2,4	2,7	3,1	2,8	2,9	2,6
2	20,2	2,6	2,7	3,0	3,1	2,9	2,9	2,7	2,9
3	21,9	2,5	2,7	2,2	2,8	2,6	2,7	2,7	2,8

Механическая прочность респираторов «Лепесток-О2»

№ п/п	По ленте	По точкам							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	19,4	2,7	2,5	2,9	2,8	2,6	2,7	2,7	2,4
2	22,7	2,7	3,0	2,6	2,7	2,2	2,5	2,6	2,7
3	20,9	2,9	2,6	2,8	2,9	2,5	3,3	2,9	3,0

Механическая прочность респираторов «Лепесток-О3»

№ п/п	По ленте	По точкам							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	24,5	2,3	2,8	2,8	2,6	2,5	2,9	2,3	2,6
2	21,0	2,8	2,7	3,1	3,0	3,0	2,8	2,6	2,7
3	19,3	2,6	2,5	2,6	2,5	2,8	2,7	2,6	2,3

5.4. Коэффициент проникания

5.4.1. Коэффициент проникания через фильтрующую полумаску (на испытателях-добровольцах)

Требования ДСТУ EN 149:2003 и ГОСТ 12.4.028-76:

Коэффициент проникания через фильтрующую полумаску не должен превышать:

- для FFP1 – 25%
- для FFP2 - 11%
- для FFP3 – 5%.

При этом для восьми из десяти испытателей коэффициент проникания через полумаску не должен превышать:

- для FFP1 – 22%
- для FFP2 - 8%
- для FFP3 – 2%.

Основные параметры лиц испытателей-добровольцев приведены в табл. 7

Результаты определения коэффициента проникания аэрозоля через респиратор приведены в табл. 8

Таблица 7

Паромеры лиц испытателей-добровольцев

Испытатель	Длина лица	Ширина лица	Глубина лица	Ширина рта
Р.Д.И.	120	145	112	47
Л.Н.С.	122	141	112	40
Я.В.В.	121	143	118	47
С.В.Н.	130	140	100	44
В.К.П.	124	144	123	51
К.А.Н.	118	144	119	47
П.А.С.	116	135	114	47
О.Р.А.	124	140	113	40
Н.Н.А	126	144	118	47
Ч.С.И.	131	144	115	44

Таблица 8

Результаты определения коэффициента проникания МТ (К, %) через респиратор (на испытателях-добровольцах)

Наименование образца	Испытатель	Номер образца	Коэффициент проникания МТ в положениях, %					Среднее значение Кмт, %
			ходьба	движения головой		разговор	ходьба	
				влево-вправо	вверх-вниз			
«Лепесток-О1»	Р.Д.И.	4(ПП)	20,1	16,3	16,6	19,4	18,3	18,1
	Л.Н.С.	5(ПП)	18,5	11,4	13,0	20,1	18,2	16,2
	Я.В.В.	6(ПП)	21,4	17,7	16,2	20,8	19,9	19,2
	С.В.Н.	7(ПП)	16,0	15,3	15,2	17,5	16,6	16,1
	В.К.П.	8(ПП)	22,3	18,0	17,7	20,6	22,2	20,2
	К.А.Н.	9(ТВ)	20,9	14,5	16,5	21,2	20,5	18,7
	П.А.С.	10(ТВ)	17,0	16,8	16,2	19,4	19,4	17,8
	О.Р.А.	11(ТВ)	12,0	12,1	11,4	14,9	12,7	12,6
	Н.Н.А.	12(ТВ)	21,7	17,6	17,9	19,3	20,5	19,4
	Ч.С.И.	13(ТВ)	16,3	10,2	12,6	15,3	15,8	14,0
«Лепесток-О2»	Р.Д.И.	4(ПП)	7,6	6,3	6,2	7,0	6,1	6,6
	Л.Н.С.	5(ПП)	6,7	5,4	4,5	7,8	6,7	6,2
	Я.В.В.	6(ПП)	10,0	6,9	7,6	9,5	9,2	8,6
	С.В.Н.	7(ПП)	6,0	5,1	3,4	3,4	6,9	5,0
	В.К.П.	8(ПП)	6,7	7,0	7,0	6,8	6,7	6,8
	К.А.Н.	9(ТВ)	7,1	4,3	5,0	7,2	6,4	6,0
	П.А.С.	10(ТВ)	5,3	3,0	3,3	5,0	5,1	4,3
	О.Р.А.	11(ТВ)	6,0	5,6	3,5	7,6	7,9	6,1
	Н.Н.А.	12(ТВ)	7,8	6,5	4,6	6,8	7,5	6,6
	Ч.С.И.	13(ТВ)	9,5	4,4	4,4	7,5	6,7	6,5
«Лепесток-О3»	Р.Д.И.	4(ПП)	2,2	1,9	1,7	1,1	1,5	1,7
	Л.Н.С.	5(ПП)	2,0	1,9	1,7	1,9	1,8	1,9

Я.В.В.	6(ПП)	2,7	1,6	1,5	2,7	1,9	2,1
С.В.Н.	7(ПП)	1,6	1,2	1,4	1,6	1,5	1,4
В.К.П.	8(ПП)	1,9	1,7	1,8	1,8	1,7	1,8
К.А.Н.	9(ТВ)	1,4	1,4	1,2	1,5	1,7	1,4
П.А.С.	10(ТВ)	1,8	2,0	1,7	2,1	2,0	1,9
О.Р.А.	11(ТВ)	1,5	1,9	1,8	1,9	1,6	1,7
Н.Н.А	12(ТВ)	3,3	3,8	3,5	4,0	4,2	3,8
Ч.С.И.	13(ТВ)	2,0	1,5	1,7	1,7	2,0	1,8

Примечание:

- ПП - состояние после поставки;
- ТВ - состояние после температурного воздействия (кроме нагрева до + 70 °С) по п. 8.3.2 ДСТУ EN 149:2003.

Отклонения от метода, изложенного в ДСТУ EN 149:2003:

1. Вместо пламенного фотометра использовался фотометр фотоэлектрический для аэрозолей ФАН.
2. Чувствительность метода - 0,001%.

5.4.2. Коэффициент проникания через фильтр на насадке

Требования ДСТУ EN 149: 2003:

Коэффициент проникания масляного тумана при расходе воздушного потока 95 дм³/мин для фильтрующей полумаски

- FFP1 – 20%
- FFP2 - 6%
- FFP3 – 1%.

Результаты определения коэффициента проницаемости через фильтр респиратора по парафиновому маслу приведены в табл. 9

Таблица 9

Результаты определения проницаемости фильтра респиратора по парафиновому маслу на насадке.

Характеристика аэрозоля:

- вид – парафиновое масло (масло вазелиновое, ГОСТ 3164-78);
- диаметр частиц-(0,4) мкм; концентрация – 0,25 г/м³;
- скорость потока – 95 дм³/мин.

Наименование образца	Номер образца	Предварительная подготовка образца	Коэффициент проникания, %
«Лепесток-О1»	14	ПП	12,1
	15	ПП	11,8
	16	ПП	11,3
	17	ТВ	17,9
	18	ТВ	14,7
	19	ТВ	16,3
	20	РН	12,7
	21	РН	14,0
	22	РН	13,4
«Леесток-О2»	14	ПП	6,0
	15	ПП	5,4
	16	ПП	4,9
	17	ТВ	6,6
	18	ТВ	7,1
	19	ТВ	6,7
	20	РН	5,4
	21	РН	5,1
	22	РН	5,1
«Лепесток-О3»	14	ПП	1,0
	15	ПП	1,3
	16	ПП	1,1
	17	ТВ	1,9
	18	ТВ	1,8
	19	ТВ	1,6
	20	РН	0,8
	21	РН	0,7
	22	РН	1,1

Примечание:

- ПП - состояние после поставки;

- ТВ - температурное воздействие (кроме нагрева до + 70 °С) по п. 8.3.2 ДСТУ EN 149: 2003;
- РН - смоделированный режим носки по п. 8.3.1 ДСТУ EN 149: 2003;

5.4.3. Проницаемость фильтрующего материала респиратора по МТ (в зажиме)

Требования ГОСТ 12.4.028-76:

Коэффициент проникания тест-аэрозоля парафинового масла при расходе воздушного потока 30 дм³/мин, %, не более для

- «Лепестка-5» – 16%
- «Лепестка-40» – 2,0%
- «Лепестка-200» – 0,4%

Характеристика аэрозоля:

- вид – парафиновое масло (масло вазелиновое, ГОСТ 3164-78);
- диаметр частиц-(0,4) мкм; концентрация – 0,25 г/м³;
- скорость потока – 30 дм³/мин.

Результаты определения коэффициента проницаемости фильтрующего материала по парафиновому маслу приведены в табл. 10

Таблица 10

Результаты определения проницаемости респиратора по МТ (в зажиме)

Наименование образца	Номер образца	Предварительная подготовка образца	Коэффициент проникания, %
«Лепесток-О1»	23	ПП	10,1
	24	ПП	9,8
	25	ПП	12,4
	26	ПП	8,5
	27	ПП	12,2
	28	ПП	13,0
	29	ПП	7,9
	30	ПП	10,4
	31	ПП	10,1
«Лепесток-О2»	23	ПП	0,7
	24	ПП	0,9
	25	ПП	1,2
	26	ПП	1,0
	27	ПП	0,9

	28	ПП	0,6
	29	ПП	0,8
	30	ПП	1,0
	31	ПП	0,9
«Лепесток-О3»	23	ПП	0,1
	24	ПП	0,2
	25	ПП	0,1
	26	ПП	0,1
	27	ПП	0,08
	28	ПП	0,2
	29	ПП	0,2
	30	ПП	0,1
	31	ПП	0,2

Примечание:

- ПП - состояние после поставки;

5.5. Сопротивление респираторов постоянному воздушному потоку на вдохе и выдохе

Требования ДСТУ EN 149: 2003:

- сопротивление на вдохе постоянному воздушному потоку с расходом 95 дм³/мин для фильтрующих полумасок, не более:

- FFP1 - 210 Па;

- FFP2 - 240 Па;

- FFP3 - 300 Па;

- сопротивление на выдохе постоянному воздушному потоку с расходом 160 дм³/мин для фильтрующих полумасок не более 300 Па.

Результаты определения сопротивления постоянному воздушному потоку приведены в табл. 11.

Таблица 11

Результаты определения сопротивления респиратора
(величины сопротивления приведены к нормальным условиям)

Наименование образца	Номер образца	Предварит. подготовка образца	Сопротивление постоянному потоку воздуха, Па	
			На вдохе 95 дм ³ /мин	На выдохе 160

				дм³/мин
«Лепесток-О1»	14	ПП	27,3	39,6
	15	ПП	25,2	38,2
	16	ПП	26,7	39,3
	17	ТВ	27,4	40,5
	18	ТВ	26,9	42,2
	19	ТВ	27,0	42,7
	20	РН	29,6	47,0
	21	РН	30,4	45,4
	22	РН	32,5	44,9
«Лепесток-О2»	14	ПП	51,3	76,3
	15	ПП	52,8	76,0
	16	ПП	47,9	75,8
	17	ТВ	50,5	80,4
	18	ТВ	52,7	82,5
	19	ТВ	55,2	83,1
	20	РН	60,9	90,0
	21	РН	56,4	88,7
	22	РН	61,7	89,3
«Лепесток-О3»	14	ПП	107,3	158,1
	15	ПП	109,6	163,6
	16	ПП	115,5	164,8
	17	ТВ	119,9	179,9
	18	ТВ	116,6	172,5
	19	ТВ	119,1	176,3
	20	РН	138,6	196,0
	21	РН	133,2	199,8
	22	РН	130,9	199,2

Примечание:

- ПП - состояние после поставки;

- ТВ - температурное воздействие (кроме нагрева до + 70 °С) по п. 8.3.2 ДСТУ EN 149: 2003;
- РН - смоделированный режим носки по п. 8.3.1 ДСТУ EN 149: 2003;

5.5.1. Сопротивление респираторов постоянному воздушному потоку в зажиме

Требования ГОСТ 12.4.028-76:

для респираторов:

- «Лепесток-200» – 42 Па;
- «Лепесток-40» – 14 Па;
- «Лепесток-5» – 7 Па;

при скорости воздушного потока 30 дм³/мин.

Результаты определения сопротивления постоянному воздушному потоку приведены в табл. 12.

Таблица 12

Результаты определения сопротивления респиратора (в зажиме)

Наименование образца	Номер образца	Предварит. подготовка образца	Сопротивление постоянному потоку воздуха при 30 дм ³ /мин, Па
«Лепесток-О1»	23	ПП	5,5
	24	ПП	6,1
	25	ПП	5,4
	26	ПП	5,8
	27	ПП	6,3
	28	ПП	6,2
	29	ПП	6,8
	30	ПП	6,5
	31	ПП	6,2
«Лепесток-О2»	23	ПП	13,3
	24	ПП	11,6
	25	ПП	12,0
	26	ПП	12,4
	27	ПП	13,1
	28	ПП	13,5

	29	ПП	12,2
	30	ПП	13,0
	31	ПП	12,9
«Лепесток-ОЗ»	23	ПП	32,0
	24	ПП	29,4
	25	ПП	30,7
	26	ПП	29,5
	27	ПП	28,8
	28	ПП	33,1
	29	ПП	32,4
	30	ПП	30,9
	31	ПП	28,2

Примечание:

-ПП - состояние после поставки;

5.6. Эксплуатационные свойства

Требования ДСТУ EN 149: 2003:

Респираторы не должны иметь отрицательных оценок испытателей в условиях, моделирующих трудовую деятельность. Оценки испытателей после испытаний респираторов представлены в табл. 13

Таблица 13

Результаты испытаний эксплуатационных свойств респираторов

Наименование образца	Ф.И.О. испытателя (номер образца)	Оцениваемые параметры			
		Комфортность ремней крепления и /или оголовья	Надежность креплений	Поле зрения	Другие комментарии
«Лепесток-О1»	Н.Н.А	удовлетворит .	удовлетворит .	удовлетвор.	нет замечаний
	Ч.С.И.	удовлетворит .	удовлетворит .	удовлетвор.	нет замечаний

«Лепесток-О2»	Н.Н.А	удовлетворит .	удовлетворит .	удовлетвор.	нет замечаний
	Ч.С.И.	удовлетворит .	удовлетворит .	удовлетвор.	нет замечаний
«Лепесток-О3»	Н.Н.А	удовлетворит .	удовлетворит .	удовлетвор.	нет замечаний
	Ч.С.И.	удовлетворит .	удовлетворит .	удовлетвор.	нет замечаний

6. УСРЕДНЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Усредненные результаты определения технических и физиолого-гигиенических показателей респираторов типа «Лепесток-О» в сравнении с требованиями ДСТУ EN 149 и ГОСТ 12.4.028-76 представлены в табл. 17.

Таблица 17

Степень соответствия требованиям ДСТУ EN 149 и ГОСТ 12.4.028-76 респираторов

«Лепесток-О»

Наименование показателей	Требования ДСТУ EN 149 и ГОСТ 12.4.028-76	Фактически получено		
		«Лепесток-О1»	«Лепесток-О2»	«Лепесток-О3»
1. Эксплуатационные свойства	Удовлетворительная оценка эксплуатационных свойств	Удовлетворительная оценка		
2. Коэффициент проникания через респиратор (на испытателях-добровольцах), %	- для FFP1 – 25% - для FFP2 - 11% - для FFP3 – 5%. 8 из 10 , не более: - для FFP1 – 22% - для FFP2 - 8% - для FFP3 – 2%.	$\frac{17,2}{12,6 \div 20,2}$	$\frac{6,3}{4,3 \div 8,6}$	$\frac{2,0}{1,4 \div 3,8}$
3. Коэффициент проникания по парафиновому маслу через фильтр на насадке, %	- FFP1 – 20% - FFP2 – 6% - FFP3 – 1%.	$\frac{12,1}{9,3 \div 16,2}$	$\frac{4,8}{3,5 \div 5,2}$	$\frac{0,7}{0,5 \div 0,9}$

4. Проницаемость фильтрующего материала респиратора по парафиновому маслу (в зажиме),%	- «Лепесток-5» – 16% - «Лепесток-40» – 2,0% - «Лепесток-200» – 0,4%	10,5	0,9	0,14
5. Сопротивление респираторов постоянному воздушному потоку на вдохе и выдохе, Па - на вдохе: с расходом 95 дм ³ /мин; - на выдохе: с расходом 160 дм ³ /мин;	- FFP1 - 210 Па; - FFP2 - 240 Па; - FFP3 - 300 Па; 300	28,1 42,2	54,4 82,5	121,2 178,9
6. Сопротивление респираторов постоянному воздушному потоку в зажиме с расходом воздуха 30 дм ³ /мин, Па	- «Лепесток-200» – 42 Па - «Лепесток-40» – 14 Па - «Лепесток-5» – 7 Па	6,1	12,7	30,6
7. Масса респиратора, г	Не более 15 г.	7,5	7,7	8,1
9. Механическая прочность не менее, Н	15	21,2	21,0	21,6

Зав. лабораторией

Д.И. Радчук

Лаборанты

К.П. Волошко

Додаток Г

Таблица А.1–Результаты лабораторных испытаний фильтрующих элементов к респиратору РПА

Номер фильтра	Шестискладчатые фильтры			Пятискладчатые фильтры			Масса, г
	Масса, г	Сопротивление постоянному потоку воздуха. R, Па	Коэффициент проникания по МТ, К, %	Масса, г	Сопротивление постоянному потоку воздуха. R, Па	Коэффициент проникания по МТ, К, %	
Фильтры, изготовленные из материала ФПП15-0,6							
1	8,543	29,53	0,069	7,278	22,39	0,069	6,298
2	8,544	34,90	0,039	7,003	24,82	0,047	6,043
3	8,99	32,20	0,059	7,34	21,25	0,079	5,987
4	8,819	30,26	0,063	7,232	22,08	0,069	6,256
5	8,927	32,73	0,069	7,169	23,88	0,061	6,155
6	8,759	31,81	0,079				

7	8,668	25,30	0,049				
8	8,736	33,06	0,029				
9	8,493	35,32	0,055				
10	8,609	29,59	0,049				
Среднее	8,71	31,12	0,056	7,20	26,467	0,065	6,15
Фильтры, изготовленные из материала НФП							
1	5,57	23,54	0,259	4,77	19,72	0,719	4,30
2	5,75	25,51	0,739	4,69	18,15	0,459	4,04
3	5,84	23,94	0,239	4,70	18,54	0,799	4,18
4	5,56	25,51	0,139	4,62	20,46	0,899	4,18
5	5,95	24,53	0,599	4,55	17,85	0,439	4,19
6	5,83	22,56	0,579	4,80	20,78	0,599	4,28
7	5,81	23,54	0,699	4,51	19,79	0,519	4,14
8	5,97	24,92	0,199	4,82	17,95	0,979	4,25
9	5,74	26,49	0,139	4,43	19,07	0,599	4,16
10	5,96	23,94	0,579	4,65	19,17	0,579	4,14
Среднее	5,80	24,45	0,417	4,65	19,15	0,659	4,18

Таблица А.2 –Результаты лабораторных испытаний фильтрующих элементов к респиратору РПА

Номер фильтра	Шестискладчатые фильтры			Пятискладчатые фильтры			Масса, г
	Масса, г	Сопротивление постоянному потоку воздуха. R, Па	Коэффициент проникания по МТ, К, %	Масса, г	Сопротивление постоянному потоку воздуха. R, Па	Коэффициент проникания по МТ, К, %	
Фильтры, изготовленные из материала мелтблоун							
1	4,72	24,62	0,699	3,81	14,22	0,479	3,33
2	4,80	19,03	0,639	3,92	17,17	0,799	3,69
3	4,61	23,15	0,439	3,93	16,68	0,899	3,36
4	4,66	18,64	0,599	3,83	16,58	0,819	3,32
5	4,73	21,97	0,719	3,97	18,74	0,799	3,55
6	4,80	20,11	0,799	3,87	16,78	0,979	3,56
7	4,57	24,03	0,579	3,75	16,09	0,799	3,65
8	4,82	18,25	0,479	3,70	19,82	0,619	3,33
9	4,67	22,07	0,699	3,86	16,97	0,699	3,43
10	4,68	22,37	0,659	3,85	16,58	0,599	3,39
Среднее	4,73	21,33	0,641	3,85	16,96	0,749	3,46
Фильтры, изготовленные из материала элефлен							
1	5,97	21,68	0,091	5,05	17,68	0,679	4,53
2	6,13	21,39	0,113	4,92	17,85	0,199	4,42
3	5,95	20,01	0,239	4,93	17,46	0,199	4,59
4	5,98	23,35	0,139	4,98	17,17	0,499	4,39
5	6,12	23,54	0,099	5,18	16,87	0,579	4,47
6	5,99	23,05	0,399	4,74	18,15	0,359	4,46
7	5,84	20,50	0,069	5,05	14,81	0,479	4,75
8	5,79	21,09	0,199	5,05	15,21	0,579	4,56
9	6,05	22,56	0,139	5,12	15,40	0,299	4,57
10	6,05	22,07	0,109	4,93	16,38	0,599	3,94

Среднее	5,99	21,83	0,229	4,99	16,61	0,447	4,47
---------	------	-------	-------	------	-------	-------	------

Додаток Д

Національний гірничий університет
(НГУ)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
д-р техн. наук, проф.
О.С. Бешта

" _____ " _____ 2008 р.

ЗВІТ

ПРО ПАТЕНТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

З НДР „Наукове обґрунтування конструкції та параметрів протипилових респіраторів з нових фільтруючих матеріалів”

шифр ГП–393

Етап – заключний

Начальник НДЧ

О.Є. Хоменко

Зав. кафедри аерології та охорони
праці

В.І. Голінько

Завідувачка ПЛВ

О.О. Філонова

Керівник НДР

В.І. Голінько

Нормоконтролер

Л.О. Савостенко

2008

СПИСОК АВТОРІВ

Відповідальний виконавець,
провідн. наук. співр., д-р техн. наук
Виконавець, мол. наук. співр.
Виконавець, мол. наук. співр.

В.Є. Колесник

Ю.І. Чеберячко

Д.І. Радчук

ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Організація-виконавець розробки: Національний гірничий університет

Початок розробки – 2007, січень

Кінець розробки – 2008, грудень

Призначення, галузь використання та короткий опис об'єкта:

Метою НДР в цілому є підвищення ефективності засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), які використовуються на вугільних шахтах, на основі урахування впливу умов виробничого середовища гірничодобувних підприємств, та на основі використання нових фільтруючих матеріалів, а також виявлення впливу факторів виробничого середовища

на захисні і ергономічні показники нових фільтруючих матеріалів та виготовлених з їх застосуванням ЗІЗОД.

Актуальність роботи полягає в необхідності комплексної оцінки умов виробничого середовища гірничих виробок шахт, їх впливу на якість затримання пилу ЗІЗОД, властивостей нових фільтрувальних матеріалів та конструктивних особливостей півмасок, необхідної для розроблення новітніх більш ефективних протипилових респіраторів для гірників.

Об'єктом досліджень виступає ефективність протипилових респіраторів для гірників та шляхи її підвищення, а предметом – властивості нових фільтруючих матеріалів та конструктивні параметри і особливості ЗІЗОД.

Галузь використання – підприємства, які займаються розробкою, виробництвом та реалізацією фільтруючих респіраторів для вугільної промисловості.

ЗМІСТ

1. Техніко-економічні показники ОГД та об'єктів аналогічного призначення (Ф. Г. 1.4).....
2. Аналіз новизни, винахідницького рівня та промислового використання ОГД (Ф. Г. 1.5.).....
3. Аналіз можливостей застосування в ОГД відомих об'єктів промислової власності (Ф. Г. 2.4.).....
4. Висновки.....
5. Довідка про оцінку науково-технічного рівня результатів НДР ГП – 364...

1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ОГД ТА ОБ'ЄКТІВ
АНАЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (Ф.Г.1.4)

Найменування та одиниці виміру	Техніко-економічні показники			
	об'єкта за ДСТУ EN 143:2002	об'єкта-аналога (Україна, МПК «Фільтр», фільтр до респіратору РПА)	ОГД	Перспек- тивного зразка
1	2	3	4	5
Опір повітряному потокі при витраті повітря 30 л/хв., Па	70	25	20	20
Коефіцієнт проникнення тест- аерозолі масляного туману при витраті повітря 30 л/хв., K , %	Для класу захисту P2 $K < 6$	0,5	0,1	0,05

2. АНАЛІЗ НОВИЗНИ, ВІНАХІДНИЦЬКОГО РІВНЯ ТА ПРОМИСЛОВОГО ВИКОРИСТАННЯ ОГД (Ф.Г.1.5.)

ОГД, його складові частини		Прототип		Очікуваний результат	Можливості використання у промисловості або іншій сфері діяльності	Номер поданої заявки, дата подачі заявки
Назва	Сукупність ознак	Бібліографічні дані	Сукупність ознак			
1	2	3	4	5	6	7
Фільтрувальний елемент до протипилового респіратора	Фільтруючий елемент протипилового респіратора, що має концентричні гофри виготовлені з поліпропіленового фільтруючого матеріалу, які виконано з декількох шарів електростатично зарядженого матеріалу з діаметром волокон 1...4 мкм і сумарною поверхневою щільністю шарів 80...110 г/м ² .	Пат. 22314 Україна МКИ ³ А62 В23/02. Фільтруючий елемент респіратора. № 97031310; Заявл. 21.03.97; Опубл. 30.06.98; Бюл. № 3.	Фільтруючий елемент для протипилового респіратора який складається із концентричних гофрів з поліпропіленового матеріалу, які виконані з двох однакових шарів фільтруючого матеріалу з поліпропіленових волокон, із сумарною поверхневою щільністю шарів 45...55 г/м ²	Підвищення захисних і ергономічних властивостей респіраторів	Доцільне використання для очищення повітря у автомобілів	Пат. 50062 Україна, МКИ ³ А 62 В 23/02. Фільтруючий елемент протипилового респіратора / - № 2001053367 Заявлено 18.05.01; Опубл. 15.10.02; Бюл. № 10

3. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ В ОГД
 ВІДОМИХ ОБ'ЄКТІВ ПРОМИСЛОВОЇ ВЛАСНОСТІ
 (Ф.Г. 2.4.)

ОГД, її складові частини	Документи на об'єкт промислової власності	Суть об'єкта промислової власності	Очікувані результати від застосування промислової власності
Фільтрувальний елемент протипилового респіратора	Пат. 50062 Україна, МКИ ³ А 62 В 23/02. Фільтруючий елемент протипилового респіратора / В.І. Голінько, О.С. Іщенко, С.І. Чеберячко та ін. (Україна) - № 2001053367 Заявлено 18.05.01; Опубл. 15.10.02; Бюл. № 10	Фільтруючий елемент протипилового респіратора, що має концентричні гофри виготовлені з поліпропіленового фільтруючого матеріалу, які виконано з декількох шарів електростатично зарядженого матеріалу з діаметром волокон 1...4 мкм і сумарною поверхневою щільністю шарів 80...110 г/м ² .	Приведе до зменшення коефіцієнта проникнення фільтруючого елемента, через уловлювання дрібної фракції пилу за рахунок електростатичного заряду. Зменшиться опір диханню за рахунок збільшення сумарної поверхневої щільності фільтрматеріала до 80...110 г/м ² .

4. ВИСНОВКИ

Патентні дослідження доводять – результати НДР, спрямовані на вирішення актуальної проблеми, містять нові технічні рішення, що перевищують рівень світових аналогів. Використане технічне рішення, що захищено патентом України (Пат. 50062 Україна, МКИ³ А 62 В 23/02. Фільтруючий елемент протипилового респіратора / В.І. Голінько, О.С. Іщенко, С.І. Чеберячко та ін. (Україна) - № 2001053367 Заявлено 18.05.01; Опубл. 15.10.02; Бюл. № 10). Розробка має відомості "ноу-хау", стосовно вибору шарів фільтрувальних матеріалів для протипилового респіратора за щільністю упакування їх волокон. Крім того, техніко-економічні показники запропонованих технічних рішень перевищують рівень близьких аналогів. Науково-технічний рівень НДР відповідає сучасному світовому рівню науки і техніки, а створені протипилові респіратори за коефіцієнтом проникнення тест-аерозолі – перевищують світовий рівень у своєму класі.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
_____ **О.С.Бешта**

" ____ " _____ 2008 р.

ДОВІДКА
про оцінку науково-технічного рівня результатів НДР
ГПЗ93

„Наукове обґрунтування конструкції та параметрів протипилових респіраторів з нових фільтруючих матеріалів”

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Найменування та одиниця виміру	Значення техніко-економічних показників	
	кращого аналога	розробленого об'єкту
Опір повітряному потоку при витраті повітря 30 л/хв., Па	25	20
Коефіцієнт проникнення тест-аерозоллю масляного туману при витраті повітря 30 л/хв., К, %	0,5	0,1

1. Пат. 44101 Україна, МКИ³ А 62 В 23/02. Фільтруючий елемент протипилового респіратора / В.І. Голінько, О.С. Іщенко, С.І. Чеберячко та ін. (Україна) - № 2001042466; Заявл. 12.04.01; Опубл. 15.01.02; Бюл. № 1.

2. Пат. 44101 Україна, МКИ³ А 62 В 23/02. Фільтруючий елемент протипилового респіратора / В.І. Голінько, О.С. Іщенко, С.І. Чеберячко та ін. (Україна) - № 2001042915; Заявл. 27.04.01; Опубл. 15.01.02; Бюл. № 1.

3. Пат. 50062 Україна, МКИ³ А 62 В 23/02. Фільтруючий елемент протипилового респіратора / В.І. Голінько, О.С. Іщенко, С.І. Чеберячко та ін. (Україна) - № 2001053367 Заявлено 18.05.01; Опубл. 15.10.02; Бюл. № 10

Відомості НОУ-ХАУ стосуються порядку шарів фільтрувальних матеріалів для протипилових респіраторів за щільністю упакування їх волокон.

Науково-технічний рівень відповідає сучасному світовому рівню науки і техніки, а створені протипилові респіратори за коефіцієнтом проникнення тест-аерозоллю – перевищують світовий рівень у своєму класі.

Зав. ПЛВ
_____ Філонова О.О.
" ____ " _____ 2008 р.

Керівник НДР
_____ В.І. Голінько

Витяг з протоколу №

Додаток Е
засідання кафедри аерології і охорони праці

м. Дніпропетровськ

« ____ » грудня 2008 р.

ПРИСУТНІ: Завідувач кафедри, проф. Голінько В.І., професори: Бойко В.О., Кременчуцький М.Ф., Клочков В.Г., доценти: Безщасний О.І., Кривцун Г.П., Шибка М.В., Литвиненко А.А., Фрундін В.Ю., Олексієнко С.О., Лебедев Я.Я., асистенти: Іщенко О.С.,

Марченко В.Г., Мікрюков С.Б., професор каф екології Колесник В.Є (відповідальний виконавець НДР ГП–393) та аспіранти кафедри.

СЛУХАЛИ: Інформацію проф. Голінько В.І., наукового керівника НДР ГП-393 „Наукове обґрунтування конструкції та параметрів протипилових респіраторів з нових фільтруючих матеріалів”, про виконання робіт і заключний звіт за темою.

ВІСТУПИЛИ: д.т.н. Кременчуцький М.Ф., к.т.н., Фрундін В.Ю. Відмітили актуальність створення ЗІЗОД на основі нових фільтрувальних матеріалів з урахуванням умов підприємств вугільної галузі. Вказали на важливість отриманих результатів для створення ефективних ЗІЗОД для гірників.

УХВАЛИЛИ:

Робота виконана в повному обсязі відповідно до календарного плану і технічного завдання на НДР. Робота актуальна, має наукову та практичну цінність.

У роботі проаналізовано існуючі методи і засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД). Досліджено вплив на їх захисні й ергономічні показники факторів виробничого середовища гірничих виробок. Виявлені основні властивості фільтруючих матеріалів з нових поліпропіленових волокон та оцінена можливість їх використання в умовах вугільних шахт. Встановлені залежності конструктивних параметрів респіратора від властивостей фільтруючих елементів. Досліджено вплив конструкції півмаски на її захисні і ергономічні показники на вугільному пилу.

Обґрунтовані нові методи розрахунку показників нових фільтруючих матеріалів за захисною ефективністю; опором диханню; терміном дії. Запропоновано застосування у ЗІЗОД багат шарових фільтруючих матеріалів. Виконання зовнішнього шару з елефлену з волокнами 5...8 мкм (7,5 мкм – для вугільного пилу), а внутрішнього 1...4 мкм, збільшує пиломісткість фільтра на 18...20%, а знімання з їх поверхні електростатичного заряду, – ще на 11...14 %. Апробовані стенди та методики що необхідні для підготовки зразків ЗІЗОД та проведення їх відповідних випробувань за новими гармонізованими з європейськими стандартами. Виявлено, що елефлен більш придатний для виготовлення легких респіраторів порівняно з ФПП. Показана необхідність підвищення надійності прилягання півмаски до обличчя працюючого. Запропоновані способи ущільнення смуги їх обтюрції.

Враховуючи, значимість НДР для охорони праці у вугільній галузі, рекомендувати передати її результати на ДКР організаціям, що займаються розробкою та виготовленням ЗІЗОД, наприклад, НПП “Фільтр”, м. Горлівка, ТОВ ПМТП „Спецнаб” м. Дніпропетровськ
Заключний звіт за темою ГП-393 схвалити і рекомендувати до затвердження.

Завідувач кафедри, д.т.н., професор
Вчений секретар кафедри, к.т.н., доцент

В.І. Голінько
Г.П. Кривцун

Додаток Ж

ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ №

засідання ради Національного гірничого університету за науковим напрямом „Прогресивні технології видобутку і переробки корисних копалин”

м. Дніпропетровськ

грудня 2008 р.

Порядок денний: розгляд проміжних звітів за результатами виконаних науково-дослідних робіт у 2008 році за рахунок бюджетного фінансування.

Присутні: голова ради, проф. д.т.н. Пілов П.І., заст. голови ради д.т.н., проф. Бондаренко В.І., вчений секретар ради к.т.н., доц. Медяник В.Ю., члени ради: д.т.н., проф. Голінько В.І., д.т.н., проф. Шашенко О.М., д.т.н., проф. Симоненко В.І.,

Слухали: повідомлення наукового керівника НДР д.т.н., проф. Голінько В.І. про одержані наукові і практичні результати. На розгляд ради був представлений заключний звіт за темою: ГП –393 „Наукове обґрунтування конструкції та параметрів протипилових респіраторів з нових фільтруючих матеріалів”; категорія роботи – фундаментальна. Етап 2008 р. „Розробка нових легких протипилових конструкцій респіраторів”.

Найбільш важливі наукові та практичні результати НДР ГП – 393, отримані на звітному етапі:

1. Виконаний аналіз відомих методів розрахунку основних показників фільтруючих матеріалів Розроблений новий метод розрахунку основних показників фільтрів за пріоритетними факторами: – захисна ефективність; опір диханню; термін дії. Запропоновано застосовувати багатошарові фільтруючі матеріали, перші шари яких мають низьку щільність упакування, а нижні – високу.

2. Обґрунтовано метод розрахунку параметрів фільтруючих елементів для їх виготовлення з урахуванням типів фільтруючих матеріалів, зокрема для ФПП, елефлен, мелтблоун на прикладі найбільш поширеного у вугільній і гірничорудній промисловості респіратора РПА-ТД. Рекомендовано виготовляти до нього такі фільтри: з матеріалу мелтблоун – шестискладчасті, з елефлену – п'ятискладчасті, а з ФПП – чотирихскладчасті, проте для більш ефективного використання робочої поверхні фільтрів рекомендовано змінити габаритні розміри фільтруючої коробки.

3. Розроблено метод розрахунку параметрів конструктивних елементів багатошарових фільтрів для вугільних підприємств, фільтрувальні шари яких відрізняються між собою поверхневою щільністю. Метод адаптувався для гофрованого фільтрувального елемента з елефлену. В результаті випробувань різних варіантів фільтрів, розрахованих за адаптованим методом виявлено, що виконання зовнішнього шару з поліпропіленового матеріалу з діаметром волокон 5...8 мкм, а внутрішнього 1...4 мкм збільшує пиломісткість фільтра на 18...20%, а знімання електростатичного заряду з зовнішнього шару фільтрів, – ще на 11...14 %.

4. Розроблено метод визначення оптимальних радіусів волокон основного й додаткового шарів волокнистих фільтрів. Для типового розподілу дисперсного складу вугільного пилу отриманий оптимальний діаметр волокна попереднього фільтра – 7,5 мкм. Метод дозволяє розраховувати в першому наближенні оптимальні радіуси волокон багатошарових фільтруючих матеріалів, що забезпечують підвищення часу експлуатації фільтра при меншому навантаженні на органи дихання.

5. *Експериментально досліджена ефективність багатошарових фільтруючих елементів з елефлену 5СМ, виробленого у НВП „Стандарт 1” (м. Дніпропетровськ). Встановлено, що пиломісткість багатошарових матеріалів різної щільності волокон на 20...25% вища, ніж одношарового.*

6. Проаналізована необхідність удосконалення існуючих конструкцій легких півмасок протипилових респіраторів з причини введення в Україні нових стандартів (гармонізованих з європейськими). Перевірка на відповідність ДСТУ EN 149:2003 респіратора „Лепесток-40” (з матеріалу ФПП 15-1,5), одного з самих розповсюджених на виробництві, виявила його невідповідність вимогам стандарту.

7. Проаналізовано методи оцінки захисних властивостей ЗІЗОД за новими стандартами та апробовані стенди та методики що необхідні для підготовки зразків та проведення відповідних випробувань. Виявлені особливості здійснення термічних та механічних впливів, зокрема у термокамері, випробувань на вібраторі чи розривній машині, а також при тестуванні на парафіновому маслі та NaCl. Виявлено, що сама процедура підготовки до випробувань погіршує захисну ефективність респіратора „Лепесток” з ФПП і елефлену. Якість же останнього, на відміну від матеріалів ФПП, майже не змінюється. В цілому показано, що поліпропіленові фільтруючі матеріали (елефлен) мають низький опір диханню і порівняно високу ефективність фільтрації.

8. Проведені дослідження ефективності різних конструкцій смуг обтюраторів ЗІЗОД виявили, що для її підвищення необхідно підвищувати надійність прилягання півмаски до обличчя працюючого. Виявлено, що найкраща конструкція смуги обтюраторів – у респіраторі третього класу захисту, а у респіраторі типу „Лепесток” – гірша. Сегментне ж покриття його смуги обтюраторів дозволяє підвищити захисну ефективність у порівнянні, наприклад, із застосуванням потовщеного в області носа обтюратора.

9 Встановлено, що перспективними для промислового виготовлення є моделі, для другого ступеню захисту, а „Лепесток 40” – для третього. Інші зразки експериментальних ЗІЗОД недоцільно виготовляти, як більш витратні. Для додаткового покращення захисної ефективності респіратору третього ступеню захисту, пропонується посилити обтюратор в області перенісся додатковою смужкою з триплексу, що зменшує проникнення нефільтрованого повітря в підмасковий простір

Ухвалили. 1. Робота виконана в повному обсязі відповідно до календарного плану за темою.

2. Робота актуальна, має наукову і практичну цінність, відповідає сучасному технічному рівню розробок з протипилових респіраторів для гірничої галузі.

3. У роботі проаналізовано існуючі методи і засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД). Досліджено вплив на їх захисні й ергономічні показники факторів виробничого середовища гірничих виробок. Виявлені основні властивості фільтруючих матеріалів з нових поліпропіленових волокон та оцінена можливість їх використання в умовах вугільних шахт. Встановлені залежності конструктивних параметрів респіратору від властивостей фільтруючих елементів. Досліджено вплив конструкції півмаски на її захисні і ергономічні показники на вугільному пилу.

Обґрунтовані нові методи розрахунку показників нових фільтруючих матеріалів за захисною ефективністю; опором диханню; терміном дії. Запропоновано застосування у ЗІЗОД багат шарових фільтруючих матеріалів. Виконання зовнішнього шару з елестфлену з волокнами 5...8 мкм (7,5 мкм – для вугільного пилу), а внутрішнього 1...4 мкм, збільшує пиломісткість фільтра на 18...20%, а знімання з їх поверхні електростатичного заряду, – ще на 11...14 %. Апробовані стенди та методики що необхідні для підготовки зразків ЗІЗОД та проведення їх відповідних випробувань за новими гармонізованими з європейськими стандартами. Виявлено, що елестфлен більш придатний для виготовлення легких респіраторів порівняно з ФПП. Показана необхідність підвищення надійності прилягання півмаски до обличчя працюючого. Запропоновані способи ущільнення смуги їх обтюраторів.

4. Заключний звіт за темою ГП-39 схвалити і рекомендувати до затвердження.

5. Враховуючи, значимість НДР для охорони праці у вугільній галузі, рекомендувати передати її результати на ДКР організаціям, що займаються розробкою та виготовленням ЗІЗОД, наприклад, НПП „Фільтр”, м. Горлівка, ТОВ ПМТП „Спецнаб” м. Дніпропетровськ .

Голова ради д-р техн. наук, проф.

П.І. Пілов

Вчений секретар канд. техн. наук, доц.

В.Ю. Медяник

Додаток 3
РЕЦЕНЗІЯ

на проміжний звіт з НДР ГП-393 „ГП –393 „Наукове обґрунтування конструкції та параметрів протипилових респіраторів з нових фільтруючих матеріалів”.

Актуальність роботи обумовлена високим вмістом пилу в повітрі робочої зони у гірничодобувній галузі, а відповідно труднощами нормалізації умов праці за пиловим фактором, що підсилили проблему захворювання гірників пневмоконіозами.

У заключному звіті фундаментальної НДР наведені результати досить обширних досліджень впливу умов, характерних для гірничих виробок вугільних шахт, на захисні та ергономічні показники, як самих нових фільтруючих матеріалів, так і створених на їх основі ЗІЗОД. Встановлені основні властивості і характеристики нових фільтрувальних матеріалів з поліпропіленових волокон, зокрема структура волокон, їх геометричні параметри, поверхнева щільність та ін. параметри, що впливають на ергономічні показники. Оцінена можливість їх використання в умовах гірничодобувних підприємств. Досліджений вплив на захисні й ергономічні показники ЗІЗОД основних факторів виробничого середовища гірничих виробок – вологості, запиленості та температури, що визначався за зміною перепаду тиску та коефіцієнтів проникання на фільтрувальних матеріалах. Встановлені основні залежності конструктивних параметрів респіратора від властивостей матеріалів з яких виготовляється фільтруючий елемент. Досліджено вплив конструкції півмаски на основні захисні і ергономічні показники ЗІЗОД стосовно шахтного пилу.

Обґрунтовані нові методи розрахунку показників поліпропіленових фільтруючих матеріалів за пріоритетними факторами: – захисна ефективність; опір диханню; термін дії. Запропоновано застосування у ЗІЗОД багатошарових фільтруючих матеріалів, перші шари яких мають низьку щільність упакування, а нижні – високу. Апробовані стенди та методики що необхідні для підготовки зразків ЗІЗОД та проведення відповідних випробувань за новими гармонізованими з європейськими стандартами. Виявлено, що фільтрувальний матеріал елефлен більш придатний для виготовлення легких респіраторів порівняно з ФПП. Показана необхідність підвищення надійності прилягання півмаски до обличчя працюючого. Запропоновані способи ущільнення смуги їх обтюрації.

Результати, що представлені у звіті, указують на перспективність підвищення ефективності ЗІЗОД на основі урахування впливу умов виробничого середовища гірничодобувних підприємств та використання нових фільтруючих матеріалів, а рецензований проміжний звіт відповідає вимогам, що ставляться до звітів НДР.

Професор кафедри аерології і
охорони праці НГУ,
доктор технічних наук, професор

Н.Ф. Кременчуцький

