

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Чеберячко Сергій Іванович

УДК 614.89

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЧНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ
І ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПРОТИПИЛОВОГО ЗАХИСТУ
ПРАЦІВНИКІВ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Спеціальність 05.26.01 – Охорона праці

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертація є рукописом

Робота виконана на кафедрі аерології та охорони праці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України

**Науковий
консультант**

доктор технічних наук, професор
ГОЛІНЬКО ВАСИЛЬ ІВАНОВИЧ,
Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ), завідувач кафедри аерології та охорони праці.

**Офіційні
опоненти:**

доктор технічних наук, професор
ЛАПШИН ОЛЕКСАНДР ЄГОРОВИЧ,
Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України, професор кафедри рудникової аерології та охорони праці;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
КРУЖИЛКО ОЛЕГ ЄВГЕНОВИЧ,
Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки і охорони праці Державної служби гірничого нагляду та промислової безпеки, Національної академії наук України (м. Київ), завідувач науково-дослідного відділу інформаційних технологій;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
БУНЬКО ТЕТЯНА ВІКТОРІВНА,
Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова Національної академії наук України (м. Дніпропетровськ), старший науковий співробітник відділу проблем розробки родовищ на великих глибинах.

Захист дисертації відбудеться «__» _____ 2015 р. о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий «__» _____ 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н. доц.

О.В. Остапчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ситуація навколо професійних захворювань в Україні є досить складною. В умовах, що не відповідають санітарним нормам, працює близько 70 % шахтарів. Найбільш шкідливі виробничі фактори на робочих місцях гірників – це вугільно-породний пил, шум, вібрація, несприятливий мікроклімат. Більше половини профзахворювань мають пилову етіологію, тобто є пневмоконіозами різного виду і ступеня тяжкості. Крім того, зросла кількість випадків професійного раку легенів через довгостроковий вплив пилу на робочих місцях. Так, за даними Міжнародної організації праці, зареєстрований професійний рак становить близько 16 % усіх випадків злоякісних новоутворень. Це значно збільшує соціальну напруженість у гірничих регіонах: підвищується інвалідність, смертність, зменшується загальна тривалість життя шахтарів.

Відповідно даним Міністерства охорони здоров'я України до основних обставин, які формують професійні захворювання пилової етіології, відносять (%): недосконалість технології та конструкцій машин і механізмів – 67, відсутність або несправність санітарно-технічних установок – 3, відсутність або незастосування засобів індивідуального захисту – 25, порушення правил техніки безпеки, режимів праці й відпочинку, недосконалість робочих місць – 5. Як бачимо, відсутність або незастосування засобів індивідуального захисту складають 25 % обставин, які спричиняють професійну патологію, пов'язану з пилом, що обумовлює необхідність підвищення ефективності індивідуального протипилового захисту гірників.

Для досягнення ефективного протипилового захисту треба: по-перше, вдосконалити фільтраційні моделі з урахуванням змінного режиму руху повітря, який характерний для протипилових засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) з метою зменшення опору дихання та розробки методів розрахунку гофрованих і багатошарових фільтрів з високою пиломісткістю; по-друге встановити вплив умов праці гірників на вугільних підприємствах на захисну ефективність респіраторів для визначення їх безпечної області використання (існують респіратори, що добре зарекомендували себе в інших галузях промисловості, але виявилися не достатньо ефективними при застосуванні у вугільних шахтах), підвищення ізоляційних властивостей та удосконалення конструктивних елементів. Отже, виникає потреба у розробці нових підходів до визначення перепаду тиску та коефіцієнта захисту за тест-аерозолями фільтрувальних півмасок при накопиченні пилових відкладів при нестационарному процесі фільтрування.

Потрібно звернути увагу й на те, що перепад тиску на респіраторах при різних фазах фільтрування аерозолі не є однозначно залежним від часу, що можна пояснити різним характером накопичення частинок пилу на волокнах фільтрувального матеріалу, у міжволоконному просторі та елементах респіратора. Отже, необхідно виявити відповідні залежності опору диханню респіратора від інтенсивності накопичення пилового осаду в ньому як при

постійній, так і при змінній швидкості фільтрування з урахуванням основних параметрів фільтрувального шару та усереднених умов використання ЗІЗОД.

Насамкінець, для підвищення ефективності індивідуального протипилового захисту гірників важливо достовірно оцінити захисні й ергономічні властивості фільтрувальних респіраторів у лабораторних і виробничих умовах, а це, в свою чергу, потребує створення і використання відповідного випробувального обладнання, стендів та методик проведення випробувань, що в сукупності дозволить удосконалити протипилові респіратори й розробити рекомендації з підвищення терміну захисної дії ЗІЗОД.

Таким чином, розвиток теорії нестационарного фільтрування аерозолів засобами індивідуального захисту органів дихання для зменшення професійних захворювань на пилову етіологію гірників за рахунок удосконалення методів і засобів індивідуального протипилового захисту працівників та визначення безпечної області використання протипилових респіраторів є актуальною проблемою в гірничодобувній галузі промисловості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана відповідно до «Програми підвищення безпеки праці на вугледобувних і шахтобудівних підприємствах», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 29.03.2006 р. № 374. До дисертаційної роботи увійшли результати досліджень, які виконані згідно з тематичними планами науково-дослідних робіт кафедри аерології та охорони праці Національного гірничого університету за темами «Наукове обґрунтування конструкції та параметрів протипилових респіраторів з нових фільтруючих матеріалів» (№ держ. реєстрації 0107U000376); «Розробка методів діагностики показників якості протипилових респіраторів відповідно до європейських стандартів» (№ держ. реєстрації 0111U000749); «Наукові засади просторово-неоднорідної системи «масив – кріплення» з урахуванням контролю умов праці в шахтах за пиловим фактором» (№ держ. реєстрації 0112U000869); «Підвищення ефективності протипилового індивідуального захисту працівників гірничих підприємств» (№ держ. реєстрації 0114U000620), де автор був відповідальним виконавцем та науковим керівником.

Мета і задачі досліджень. Удосконалення методів і засобів індивідуального протипилового захисту працівників гірничих підприємств за рахунок розвитку теорії процесу фільтрування аерозольних частинок протипиловими респіраторами та наукове обґрунтування безпечної області використання ЗІЗОД.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**.

1. Проаналізувати чинники, що впливають на ефективність засобів індивідуального протипилового захисту органів дихання з урахуванням умов праці гірників за пиловим фактором на вугільних підприємствах та оцінити конструктивні особливості протипилових респіраторів, встановити основні їх недоліки.

2. Вивчити існуючі підходи до розрахунку перепаду тиску фільтрувальних респіраторів, визначити теоретичні залежності його зміни при різній швидкості фільтрування відповідно до процесу дихання з використанням

фільтраційних моделей взаємопов'язаних каналів і паралельних циліндрів та узагальнити отримані результати.

3. Встановити теоретичні залежності перепаду тиску на респіраторах при різних фазах фільтрування аерозолі та визначити відповідні залежності опору дихання від інтенсивності накопичення пилового осаду як при постійній, так і при змінній швидкості повітряного потоку з урахуванням основних параметрів фільтрувального шару та усереднених умов їх використання.

4. Розробити методи розрахунку високоефективних фільтрувальних засобів протипилового індивідуального захисту органів дихання на основі отриманих залежностей опору дихання, складених з урахуванням інтенсивності накопичення пилового осаду при змінній швидкості фільтрування.

5. Відповідно до європейських стандартів розробити методики з перевірки якості фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання при змінному режимі руху повітря.

6. Експериментально оцінити захисні й ергономічні характеристики фільтрувальних респіраторів у лабораторних і виробничих умовах, розробити рекомендації щодо підвищення їх ефективності в умовах вугільних шахт та встановити безпечну область їх використання.

Об'єкт дослідження – процес індивідуального захисту органів дихання працюючих гірників.

Предмет дослідження – методи та засоби індивідуального протипилового захисту працівників гірничих підприємств.

Методи дослідження, що використані в роботі. В основу досліджень покладено елементи системного аналізу і математичного моделювання як засоби вирішення поставлених задач. Під час формування моделей використано основні положення теорії нестационарного фільтрування та гідроаеродинаміки. Розрахунки та оцінки здійснено з використанням аналітичних числових і статистичних методів, зокрема метод кінцевих різниць – для визначення коефіцієнтів захоплення аерозольних частинок волокнами; метод біноміальної статистики, метод Монте-Карло – для встановлення безпечної області використання фільтрувальних респіраторів. Натурні експерименти використано як засіб перевірки адекватності запропонованих математичних моделей і здійснено з використанням сучасних вимірювальних приладів згідно з методиками, наведеними у стандартах для перевірки відповідних ЗІЗОД.

Отримані результати дозволили обґрунтувати наступні наукові положення:

1. Величина опору волокон при змінному режимі руху повітря залежить не тільки від тертя, а і від інерційних коливань повітря навколо них, зменшення величини яких досягається за рахунок варіювання пористістю і проникністю фільтрувального матеріалу, що призводить до зниження перепаду тиску на фільтрах через вирівнювання повітряного навантаження.

2. Кількість фільтрувальних шарів у багат шарових фільтрах для забезпечення їх максимальної пиломісткості й високої захисної ефективності залежить від концентрації пилу в повітрі робочої зони, заданого ступеня

захисту респіратора, витрати повітря та максимального об'єму пилу, який може бути накопичений на фінішному фільтрувальному шарі при відносній густині упакування волокон, що визначено відповідно до мінімального перепаду тиску на фільтрі в кінцевий момент часу експлуатації респіратора.

3. Завдяки наявності пікових показників у циклі дихання коефіцієнт проникнення фільтрувальних респіраторів при вентиляції легенів та витратах повітря до $100 \text{ дм}^3/\text{хв}$ на 10 – 15 % більший від отриманих у лабораторних умовах значень на постійному потоці повітря, а в подальшому зі зростанням витрат повітря ця різниця зменшується.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Уперше теоретично обґрунтовано закономірності проходження повітряного потоку через пористий фільтрувальний матеріал при змінному режимі руху повітря, що дозволило визначити залежність перепаду тиску на фільтрах респіратора з урахуванням об'єму і частоти дихання людини, а також від параметрів фільтру, а саме: проникності та пористості фільтрувального шару.

2. Уперше встановлена теоретична залежність між коефіцієнтом проникнення рудникового пилу характерного дисперсного складу та пористістю фільтрів при різних швидкостях повітряного потоку, що дозволяє підвищити захисну ефективність багат шарових фільтрів з певною пористістю за рахунок забезпечення рівномірного накопичення пилового осаду за товщиною фільтрувальних шарів.

3. З урахуванням величин підсмоктувань через смугу обтюрації півмасок уперше визначено закономірності зміни коефіцієнтів проникнення та захисту протипилових респіраторів за тест-аерозолями від опору диханню фільтрувальних елементів, що дозволяє прогнозовано впливати на ізоляційні властивості респіраторів та встановити безпечний термін захисної дії.

4. Розроблено математичну модель процесу фільтрування при накопиченні на фільтрі пилового осаду для визначення коефіцієнта захоплення, зумовленого сумісною дією інерційного, дифузійного й електростатичного механізмів уловлювання аерозольних частинок, що на відміну від відомої враховує зміну поля течії біля волокон, які вкриті пористими оболонками при пульсуючому потоці повітря.

5. Удосконалено модель зміни перепаду тиску на фільтрувальних респіраторах під час осідання аерозольних частинок на фільтрах, яка на відміну від відомих враховує нелінійність формування структури пилового осаду на пористих фільтрувальних волокнах, що дозволило визначити теоретичні залежності зміни опору диханню фільтрів під час накопичення пилового осаду.

6. Уточнено залежність захисних властивостей протипилових респіраторів від коефіцієнта проникнення та опору диханню фільтра, а також коефіцієнта підсмоктування за смугою обтюрації півмаски з урахуванням умов праці на вугільних підприємствах для встановлення безпечної області використання фільтрувальних ЗІЗОД.

Практичне значення отриманих наукових результатів полягає у:

– визначенні показників пористості фільтрувальних шарів півмасок респіраторів та параметрів гофрованих фільтрів для забезпечення мінімального перепаду тиску;

– встановленні термінів захисної дії протипилових респіраторів на основі залежності перепаду тиску на фільтрах від величини пилових відкладів, що збільшує фактичну товщину фільтрувальних волокон (разом з осілим на них пилом) і змінює сектор їх осідання в часі;

– розробці нових конструкцій фільтрів і фільтрувальних півмасок, які забезпечують мінімальний рівень підсмоктування забрудненого повітря через обтюратор;

– вдосконаленні методики для перевірки якості фільтрувальних респіраторів відповідно до вимог європейських стандартів на змінному режимі руху повітря;

– обґрунтуванні безпечної області використання респіраторів та реалізації їх у рекомендаціях щодо вибору ЗІЗОД та розрахунку пилового навантаження гірників на конкретних робочих місцях у гірничих виробках, виходячи з величин коефіцієнтів захисту півмасок.

Наукові положення, висновки та рекомендації практично враховані та реалізовані на підприємствах ПМТП «Спецнаб», ТОВ НВП «Стандарт», ПАО «ДТЕК Павлоградвугілля», шахтоуправління «Героїв Космосу». Практичні результати роботи використано під час підготовки підручника для студентів вищих навчальних закладів «Моніторинг умов праці» й упроваджено в навчальний процес кафедри аерології та охорони праці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» під час підготовки студентами дипломних робіт за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр».

Особистий внесок здобувача полягає в обґрунтуванні актуальності роботи, постановці наукової проблеми, вирішеної в дисертаційній роботі, формулюванні мети і наукових задач досліджень, визначенні наукових положень, розробці математичних моделей: процесу руху змінного потоку повітря через фільтр, процесу накопичення пилового осаду в порах фільтра, розподілу відносної густини упакування волокон багат шарових фільтрів, розподілу притискних зусиль за смугою обтюрації, у розробці й удосконаленні конструктивних елементів протипилових респіраторів та рекомендацій щодо вибору й експлуатації фільтрувальних півмасок для забезпечення надійного захисту органів дихання працівників гірничих підприємств, в обґрунтуванні новітніх методик випробувань респіраторів, у плануванні й проведенні експериментальних виробничих і лабораторних досліджень захисних властивостей протипилових респіраторів, а також в аналізі та систематизації отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на міжнародній науковій конференції «Охорона праці та соціальний захист працівників» (м. Київ, 2008); міжнародній науковій конференції «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, 2012 – 2014) та міжнародних науково-практичних конференціях «Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства» (м. Київ, 2013), «Безпека життєдіяльності у XXI столітті» (м. Дніпропетровськ, 2013), «Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки» (м. Київ, 2013), «Стратегія якості в промисловості і освіті» (м. Варна, Болгарія,

2008), «Аэрология и безопасность горных предприятий» (м. Санкт-Петербург, Росія, 2012), «Школа підземної розробки» (м. Ялта, 2010 – 2012); на науковій конференції, «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (м. Харків, 2013).

Публікації. За матеріалами досліджень опубліковано 52 друковані роботи, з них: 7 монографій; 11 статей у наукових міжнародних та вітчизняних виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз, 21 стаття у фахових виданнях, 12 – в збірниках статей і тезах доповідей, 1 патент України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, семи розділів, висновків, переліку літературних джерел із 272 найменувань, має 314 сторінок машинописного тексту, 213 рисунків, 58 таблиць, 5 додатків. Загальний обсяг – 408 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами, темами, планами, поставлено мету і сформульовано задачі досліджень. Обґрунтовано наукову новизну і практичне значення винесених на захист положень, наведено відомості про апробації та публікації результатів досліджень, а також викладено загальну характеристику дисертації.

У першому розділі наведено структуру наявної системи індивідуального захисту органів дихання працюючих та результати аналізу чинників, які погіршують захисну ефективність фільтрувальних респіраторів з оцінкою їх впливової дії.

Використання фільтрувальних респіраторів не є однозначно надійним засобом захисту працівників від професійних захворювань органів дихання. Це підтверджується чисельними дослідженнями захисних властивостей ЗІЗОД у виробничих умовах. Наприклад, за даними Національного інституту охорони праці (США), кількість аерозолі, що вдихається при використанні однакових півмасок у схожих умовах, вкрай непостійна як у одного, так і у різних працівників. Вона може відрізнятись в десятки, а іноді й у сотні разів. Тому в країнах ЄС і США були встановлені області очікуваних коефіцієнтів захисту OK_3 (*assigned protection factors APF*), що показують ту кратність зниження забрудненості повітря, яку можуть у переважній більшості випадків забезпечити респіратори даної конструкції при їх правильному і своєчасному застосуванні навченими і тренуваними працівниками після індивідуального підбору півмаски до обличчя. Подібні результати були отримані й радянськими розробниками півмасок Я.І. Трумпайцманом і Б.М. Тюріковим (коефіцієнти захисту респіраторів РУ – 60М, Ф-62Ш, РП-К, РПА коливаються в діапазоні від 2,5 до 125). Однак з невідомих причин майже в усіх вітчизняних рекомендаціях з вибору ЗІЗОД наведені завищені коефіцієнти захисту, що отримані в лабораторних умовах. Таким чином, навіть при безперервному використанні респіраторів не гарантований надійний захист значної частини працівників.

Використання сучасних технічних засобів колективного захисту (вентиляції; місцевих відсмоктувачів, вбудованих у вугільний комбайн; повітряних душів; дистанційного керування комбайном та ін.) дозволить

знизити запиленість у зоні дихання практично до допустимої величини. У перспективі перехід на такі технології необхідний і неминучий. На жаль, поліпшення умов праці станеться не відразу і не усюди, оскільки впровадження новітніх і ефективних засобів колективного захисту потребує значних витрат на реконструкцію гірничого обладнання та технологію видобутку. Тому на даному етапі покращити захист працівників при використанні респіраторів на гірничих підприємствах можна завдяки:

- збільшенню їх терміну захисної дії за рахунок розробки нових фільтрувальних елементів з низьким опором дихання та високою пиломісткістю з урахуванням основних закономірностей накопичення пилового осаду при змінному режимі руху повітря;

- підвищенню надійності ізолювання органів дихання від навколишнього середовища за рахунок удосконалення смуги обтюрації та елементів кріплення півмасок на голові працівників;

- своєчасному і правильному використанню ЗІЗОД протягом усього часу експлуатації, коли запиленість перевищує гранично-допустиму концентрацію, за рахунок визначення безпечної області їх використання та процедури правильного вибору.

Багато хто з вітчизняних і закордонних учених працювали над вирішенням цих задач. Найбільш відомі з них: Я.І. Трумпайц, П.І. Басманов, С.М. Городинський, І.В. Петрянов, В.А. Кірш, А.А. Енн, В.І. Тарасов, О.Є. Лапшин, С.Л. Камінський, Л.О. Миронов, Б.М. Тюриков, О.В. Чиркін, В.Ф. Кирилов, Т.Дж. Нельсон, С.Е. Колтон, С.Н. Танахіл, А.Р. Джансен, П. Уайт, Р.С. Браун та ін. Однак здебільшого процес фільтрування аерозолів вивчався при постійному режимі руху повітряного потоку, тоді як у респіраторах він змінний. Це призводить до невизначеності розподілу поля течії за площею фільтра. В результаті спостерігається перевантаження окремих його ділянок, що збільшує опір диханню та погіршує термін захисної дії респіраторів особливо при накопиченні пилових частинок у міжволоконному просторі багатошарових фільтрувальних елементів. Виникає необхідність встановлення відповідних залежностей перепаду тиску на фільтрах респіратора від інтенсивності накопичення аерозолів при змінній швидкості фільтрування для забезпечення мінімального опору диханню і високої пиломісткості ЗІЗОД.

Десятки досліджень захисної ефективності респіраторів у виробничих умовах при безперервному і своєчасному використанні показали, що вона визначається просочуванням нефільтрованого повітря через зазори за смугою обтюрації, а не якістю фільтрів. Статистична обробка отриманих результатів дозволила виявити характерні недоліки півмасок і провести їх удосконалення. На жаль, подібною роботою в нашій країні за останні роки майже ніхто не займався. Дані таких випробувань, проведених у країнах ЄС і США, дозволили встановити область безпечного застосування ЗІЗОД. Однак в існуючих вітчизняних нормативних документах ДСТУ EN 529:2006 «Рекомендації щодо вибору, використання, догляду і обслуговування ЗІЗОД» та ДНАОП 0.00-1.04-07 «Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання», який видано Державним комітетом України з промислової безпеки,

охорони праці та гірничого нагляду за наказом № 331 від 28.12.2007 р., відсутні подібні показники, що унеможлиблює правильний вибір фільтрувальних респіраторів.

Ще однією проблемою є незастосування працівниками респіраторів протягом усієї робочої зміни, що значно збільшує ризик виникнення захворювань. Вкрай необхідні зручні півмаски, які не викликають різкого збільшення додаткового навантаження. Повинна також працювати система контролю за використанням ЗІЗОД працівниками, що включає підготовку, тренування, перевірку правильності одягання, проведення оцінки захисних властивостей ЗІЗОД у виробничих умовах. Тому виникає необхідність у розробці рекомендацій з правилами вибору і користування ЗІЗОД, а також програм респіраторного захисту.

Викладені результати аналізу дали можливість визначити мету і задачі досліджень.

Другий розділ присвячений теоретичному дослідженню характеру зміни перепаду тиску на пористих фільтрах з урахуванням їх параметрів: проникності фільтрувального шару та його пористості при змінній швидкості повітряного потоку, яка визначається об'ємом і частотою дихання людини.

Для більшості пористих фільтрів характерний режим в'язкого руху повітря, коли виконується основний лінійний закон фільтрування Дарсі. Його вихідні дані можна використовувати для дослідження руху повітряного потоку через фільтрувальні елементи за двома різними напрямками. Згідно з першим фільтр має вигляд пористого тіла із системою взаємопов'язаних каналів. Для розрахунку опору досліджується рух повітря в цих каналах і визначаються розміри пор та їх проникність. За другим – модель фільтра є система з відокремленими циліндрами. Тоді загальний опір дорівнює сумі опорів усіх волокон в об'ємі фільтрувального елемента, при цьому визначається функція течії біля них.

Перша модель базується на припущенні, що рух повітря відбувається в каналах з еквівалентним радіусом δ_k , який залежить від пористості фільтра і визначає його проникність $k_{\Pi} = \varepsilon \delta_k^2$, β_p – показник, який залежить від режиму течії і форми каналів. Скориставшись для дослідження руху газу в пористому середовищі основними рівняннями гідродинаміки у формі Ейлера з урахуванням фіктивних масових сил опору Жуковського та зважаючи на те, що під час дихання газ переміщується за гармонійним законом $p_0 = R_1 V_d e^{i\omega t}$, було отримане рівняння руху повітря через фільтрувальний респіратор

$$\frac{\partial p}{\partial t} = q_r \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + f_1, \quad (1)$$

де $q_r = \frac{k_{\Pi}}{\nu}$, м²/с; R_1 – відносна газова постійна (287,07 Дж/кг К);

$f_1 = \zeta \nu \frac{\partial p}{\partial t}$; T_0 – температура газу, К; ν – кінематична в'язкість повітря, м²/с; R_1 – аеродинамічний опір диханню при швидкості руху повітря, (Па·с)/м³; V_d – об'єм повітря при вдиханні або видиханні, м³/с; t – час, с; ω – частота пульсацій, 1/с.

З урахуванням таких граничних умов:

$p(y,0) = 0$; $0 < y < l$ $p(0,t) = 0$; $p(l,t) = 0$; $0 < t < \infty$, де l – довжина фільтра, розв'язок рівняння (1) має вигляд

$$\Delta p(y,t) = \frac{R_1 V_D}{f_1 \omega} \sin(\omega t) + \frac{\omega R_1 V_D}{f_1 \omega} e^{\kappa y} \sin(\omega t - \kappa y), \quad (2)$$

де $\kappa = \sqrt{\omega}$ – параметр, який залежить від коефіцієнта проникності фільтрувального шару і його пористості, 1/м.

Поле течії в системі з паралельного ряду відокремлених циліндрів було досліджено аналітично за допомогою сферичних функцій відповідних порядків, при $p = p_0$, за умови нехтування членами інерції в рівняннях Ейлера. При зміні швидкості повітряного потоку за законом $v = v_0 e^{i\omega t}$ функція течії в такій системі в полярних координатах (r, θ) має вигляд

$$\psi(r, \theta) = \frac{v_0 a^2 \sin^2(\theta)}{2(-0,5 \ln \beta - \lambda)} \left\{ \left[\left(1 + \frac{3}{2\zeta r}\right) \cos(\omega t) + \frac{3}{2\zeta r} \left(1 + \frac{1}{\zeta r}\right) \sin(\omega t) \right] \beta \right\} - \frac{3}{2\zeta r} \left[\cos(\omega t - \zeta(b-a)) + \left(1 + \frac{1}{\zeta r}\right) \sin(\omega t - \zeta(b-a)) \right] e^{-\zeta r}, \quad (3)$$

де a – радіус волокон, м; β – відносна густина пакування волокон; b – відстань між осями циліндрів, м; $\zeta = \sqrt{2\beta}$, 1/м; λ – поправковий коефіцієнт, який враховує неоднорідність щільності пакування волокон у фільтрувальному шарі; v_0 – початкова швидкість повітряного потоку, м/с.

Отримана формула дозволила визначити безрозмірну силу опору одного циліндра на одиницю довжини в системі паралельних волокон для в'язкої течії

$$R_0 = \frac{4\pi\beta}{-0,5 \ln \beta - \lambda} \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{9}{4\zeta a}\right) + \frac{3}{2} \left(\frac{1}{\zeta a} + \frac{1}{\zeta^2 a^2}\right) e^{\zeta a(\sqrt{\beta}} \right]. \quad (4)$$

Перший член дає результуючу силу тертя, пропорційну швидкості, а другий – поправку на інерцію, що викликана коливаннями повітря навколо волокон та зростає зі збільшенням щільності фільтрувальних шарів та частоти пульсацій.

З урахуванням загальної довжини волокон у фільтрі $L = \beta H$, рівняння для визначення перепаду тиску Δp н ньому має вигляд

$$\Delta p(t) = \frac{4\mu\beta^2 H v_0 \sin(\omega t)}{a^2(-0,5 \ln \beta - \lambda)} \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{9}{4\zeta a}\right) + \frac{3}{2} \left(\frac{1}{\zeta a} + \frac{1}{\zeta^2 a^2}\right) e^{\zeta a(\sqrt{\beta}} \right], \quad (5)$$

де H – товщина фільтрувального шару, м.

Виходячи з припущення, зробленого Л.Д. Ландау, що сила опору одного циліндра при коливальному русі повітря пропорційна швидкості руху в комплексному вигляді, було отримано іншу формулу для розрахунку перепаду тиску на фільтрувальних елементах з урахуванням гідродинамічної поправки, яка враховує вплив на функцію течії суміжних волокон

$$\Delta p(t) = \frac{v_0}{2} \left[\frac{4\pi^2 \rho v}{2(2,5 - \ln Re)} \sin(\omega t) + \sqrt{\frac{\omega v a^2 \rho^2}{2}} \cos(\omega t) \right]. \quad (6)$$

Порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними, які визначені для фільтрувального респіратору, виготовленого з поліпропіленового фільтрувального матеріалу з такими параметрами: відносна густина волокон $\beta = 0,05$; радіус волокон $a = 2,5$ мкм; площа поверхні фільтра $S_{лен} = 0,075$ м²; початковий опір повітряному потоку при витраті повітря 30 л/хв $R_{\phi} = 3620$ (Па·с)/м³; товщина фільтрувального шару $H = 0,005$ м, показали, що перепад тиску при виконанні легкої та помірної роботи можна визначити за формулами (2) і (5) (рис. 1). При цьому виявлена різниця між теоретичними й експериментальними результатами пояснюється розбіжністю між об'ємами повітря при вдиханні й видиханні та є наслідком неоднорідності щільності упакування волокон фільтра, коли з'являються ділянки з більшими повітряними навантаженням. Значення параметрів, що характеризують процес дихання, відповідно до яких установлено перепад тиску на ЗІЗОД, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Об'єм легеневої вентиляції під час роботи з різним навантаженням			
Показники, які характеризують процес дихання	Легка робота	Робота середньої важкості	Важка робота
Середня витрата повітря, л/хв	31,3	49,4	73,3
Пікова витрата повітря, л/хв	90,3	110,1	148,4
Частота дихання, цикл./хв	21,9	26,5	31,9
Глибина дихання, л	1,45	1,86	2,3
Тривалість фази вдихання, с	1,28	1,08	0,90

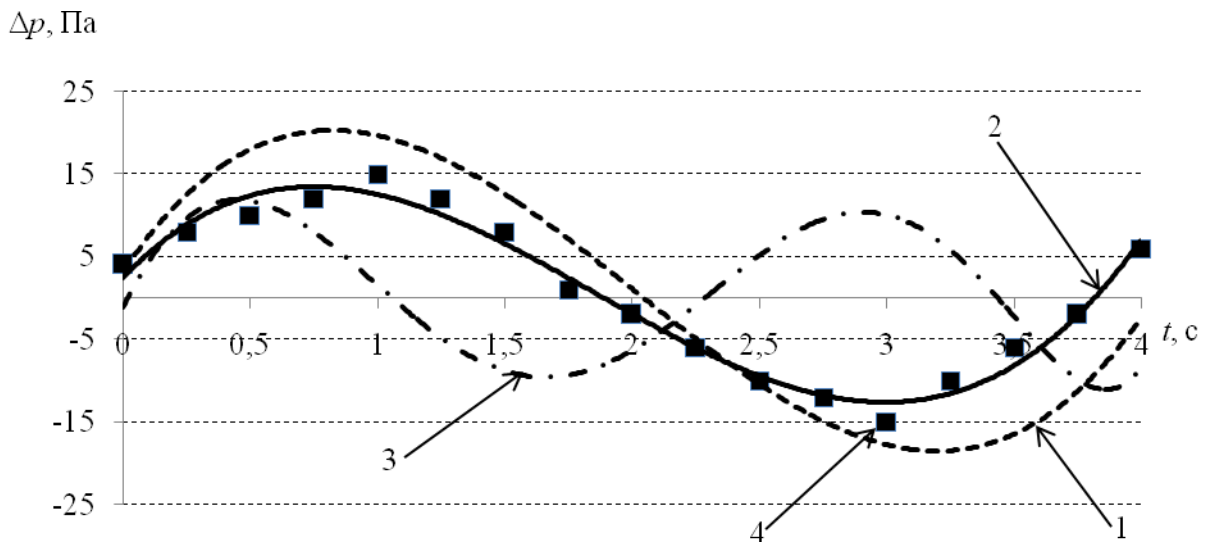


Рис. 1. Залежність перепаду тиску (Δp) на протипиловому респіраторі «Лепесток» від часу (t) при виконанні легкої роботи: 1, 2, 3 – криві, розраховані за формулами (2), (5), (6) відповідно, 4 – позначення результатів експериментальних даних

Аналіз отриманих залежностей показав, що зменшити величину перепаду тиску на фільтрах респіратору можна за рахунок зменшення параметру κ (рис. 2),

який залежить від частоти пульсацій, а також шляхом вирівнювання повітряного навантаження на поверхні фільтра, за допомогою варіювання відповідними показниками проникності, пористості фільтрувального матеріалу та радіуса його волокон (рис. 3 і 4).

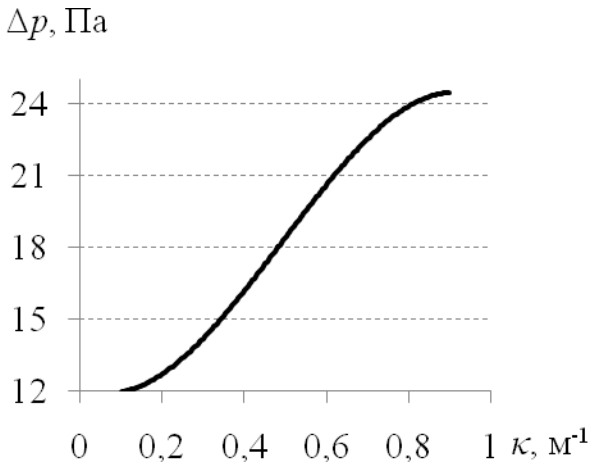


Рис. 2. Залежність перепаду тиску (Δp) від параметра (κ)

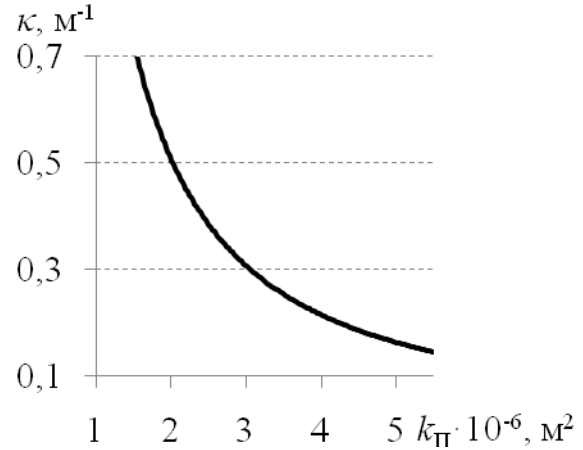


Рис. 3. Залежність параметра (κ) від проникності фільтра респіратора ($\kappa_{\text{П}}$)

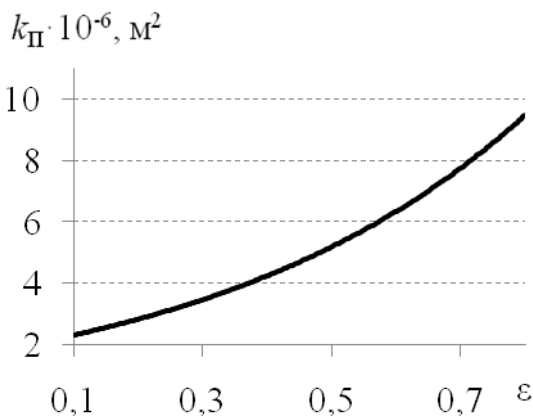


Рис. 4. Залежність коефіцієнта проникності ($\kappa_{\text{П}}$) респіратора від пористості фільтра (ε)

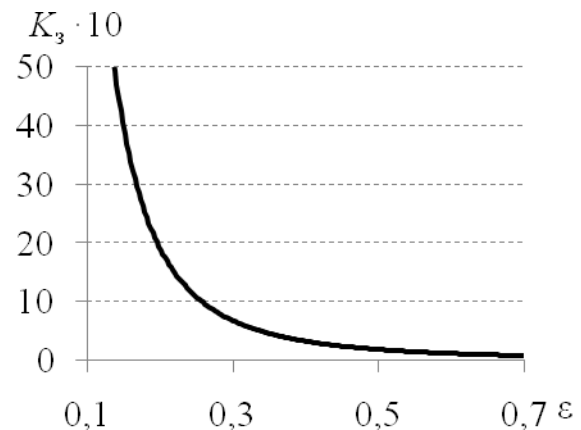


Рис. 5. Залежність коефіцієнта захисту (K_3) від пористості поліпропіленового фільтрувального матеріалу (ε)

Існує певна межа пористості фільтрувального матеріалу, яка дозволяє забезпечити мінімальний перепад тиску при високому коефіцієнті захисту, що характеризує кратність зменшення концентрації аерозолу ЗІЗОД (рис. 5). Наприклад, для одноразових респіраторів (типу «Лепесток») при виконанні робіт середньої важкості пористість знаходяться у діапазоні 0,4 – 0,5.

Третій розділ присвячений дослідженню процесу фільтрування респіраторами при накопиченні на них пилового осаду за рахунок сумісної дії інерційного, дифузійного і електростатичного механізмів захоплення аерозольних частинок та визначенню перепаду тиску при постійній і змінній швидкостях повітряного потоку.

Використання відомих моделей у теоретичному дослідженні процесу накопичення пилового осаду на поверхні волокон фільтрувальних матеріалів для розрахунку зміни перепаду тиску на поліпропіленових фільтрах призводить до певних розбіжностей з практикою. Деякі з моделей не враховують вплив осаду на гідродинаміку фільтрування. Інші занадто просто апроксимують зміну поверхні волокон при накопиченні пилу. Тому запропоновано розраховувати радіус волокон з осілим пилом за удосконаленою моделлю стовщеного волокна (рис. 6), в якій враховується вплив фізико-хімічних властивостей пилу, вологості повітря, форми частинок і кут, що утворюється пиловим осадом

$$a_n = a[1 + \Pi(1 - \kappa_1 \zeta_1^b), \quad (7)$$

де $\Pi = \beta_1 \theta_1$; β_1 – відносна густина накопичення пилового осаду; κ_1 , b_1 , θ_1 – емпіричні коефіцієнти, що залежать від фізико-хімічних властивостей пилу, вологості повітря, форми частинок; ζ_1 – кут, який утворюється пиловим осадом на волокні.

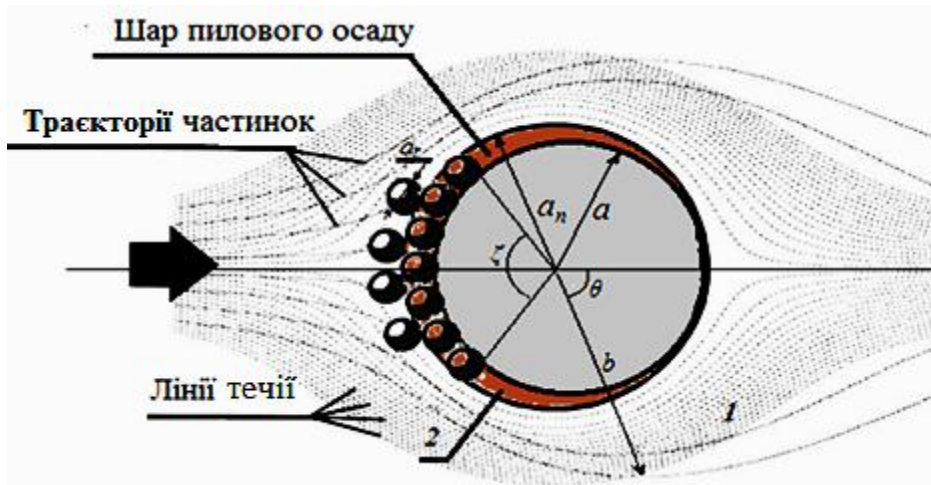


Рис. 6. Модель стовщеного волокна з пиловим осадом: 1 – лінії течії; 2 – волокно з пиловим осадом

В результаті дослідження поля течії повітряного потоку в системі паралельних волокон з пиловим осадом при постійній швидкості повітряного потоку розраховано значення коефіцієнта захоплення аерозольних частинок з урахуванням різних механізмів їх осідання та уточнено величину сили опору повітряному потоку циліндра з осілим пилом. Це дозволило визначити захисну ефективність та перепад тиску на фільтрах протипилових респіраторів відповідно за такими формулами:

$$E = 1 - \frac{\pi}{\pi}, \quad (11)$$

$$\Delta p = \frac{\mu v}{a} \int_0^{m_2} \frac{R_0(a_n)}{\eta(a_n)}, \quad (12)$$

де $m_1 = m(0, t)$, – безрозмірна пиломісткість на поверхні волокна, яка обумовлена одним шаром аерозольних частинок; $m_2 = m(h_1, t)$ – безрозмірна пиломісткість на поверхні волокна в кінцевий момент фільтрування з товщиною h_1 ; $m = M/M_0$; M – пиломісткість волокна на даний момент часу, $\text{кг}/\text{м}^2$; M_0 – максимальна пиломісткість одного волокна (визначається завершенням фази об'ємного

фільтрування), кг/м^2 ; $\eta_c = 1 - (1 - \eta_D)(1 - \eta_R)(1 - \eta_E)$ – сумарний коефіцієнт захоплення аерозольної частинки волокном; η_D – коефіцієнт захоплення, зумовлений дією дифузії; η_R – коефіцієнт захоплення, зумовлений дією інерції; η_E – коефіцієнт захоплення, зумовлений дією електростатичного заряду на волокнах; R_0 – безрозмірна сила опору волокна з осілим пилом;
 $\zeta = (1 - \kappa_1 \zeta_0)$.

Виходячи з рівняння (12) визначено час завершення об'ємної фази накопичення пилового осаду

$$t = \int_0^{m_1} \frac{1}{r} dm_1 \quad (13)$$

Результати експериментальних досліджень зміни перепаду тиску при запиленні поліпропіленових фільтрів дрібнодисперсним аерозолем показали, що накопичення пилу проходить у дві фази. Перша – характеризується осіданням частинок у середині фільтрувального шару в міжволоконному просторі і найкраще описується удосконаленою моделлю стовщеного волокна. Друга – настає при нагромадженні пилового шару на поверхні фільтра. Її можна апроксимувати гладкими циліндрами з радіусом, який дорівнює розмірам осілих частинок. При запиленні фільтрів середньо- або крупнодисперсним пилом об'ємна фаза майже відсутня і тоді перепад тиску найліпше визначається як сума опорів повітряному потоку чистого фільтра і накопиченого пилового осаду з урахуванням його пористості, густини речовини аерозольної частинки та її середнього діаметра (рис. 5).

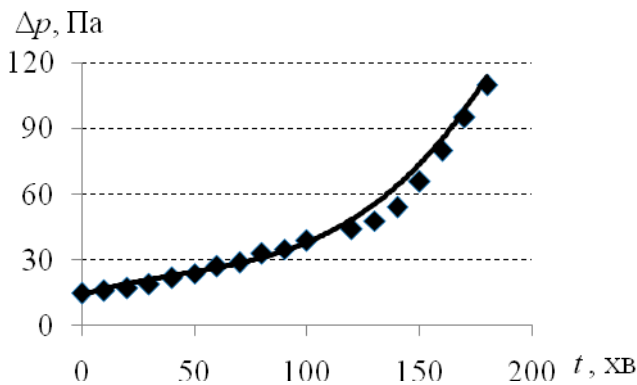


Рис. 5. Залежність перепаду тиску (Δp) на фільтрі з елефлену площею $0,05 \text{ м}^2$ від тривалості накопичення пилового осаду дрібнодисперсним аерозолем (t) при витраті повітря 95 л/хв з концентрацією пилу в камері 90 мг/м^3 : — крива побудована за формулою (12); \blacklozenge – експериментальні дані

У розрахунках перепаду тиску на фільтрувальних півмасках при накопиченні пилового осаду зі змінною швидкістю повітряного потоку викає необхідність у визначенні відносної густини пилового осаду β_1 в об'ємі фільтра.

Для цього було отримано два диференціальних рівняння, які характеризують процес об'ємного осідання пилу на фільтрі заданої товщини

$$\frac{\partial \beta_1(x,t)}{\partial t} = -v(t) \frac{\partial n}{\partial x}, \quad (14)$$

$$\frac{\partial \beta_1(x,t)}{\partial t} = v(t) \gamma(x,t) n(x,t), \quad (15)$$

де $\gamma(x,t)$ – коефіцієнт фільтрування, м^{-1} ; a_1 – коефіцієнт, який залежить від параметрів фільтра і механізму відриву частинок та їх розміру;

$n(x,t)$ – кількість накопичених на фільтрі аерозольних частинок.

Перше диференціальне рівняння характеризує зміну відносної густини пилового осаду у фільтрувальному шарі за одиницю часу залежно від кількості

частинок, що проходять через цей шар. Друге – характеризує зміну відносної густини пилового осаду під час процесу фільтрування.

Якщо вирази (14) і (15) подати як систему рівнянь з початковими умовами $\beta_1(x,0) = \beta$; $n(0,t) = n_0$, де β – відносна густина упакування волокон чистого фільтра; n_0 – кількість аерозольних частинок у повітряній суміші, яка поступає на фільтр, то розв'язок цієї системи для фільтрів, у яких відсутній процес відриву осілих частинок, має вигляд

$$n(x,t) = n_0 \exp\left(-\int_0^H \gamma(x,t), \quad (16)$$

$$\beta_1(x,t) = \beta + n(x,t)\theta(t)A, \quad (17)$$

де $\theta(t) = \int_0^t v$; $A_1(t) = \gamma(x) \exp\left(-\int_0^H \gamma(x)\right)$.

У разі наявності відриву осілих частинок від пилового шару, сформованого на волокнах фільтра, наприклад при фазі видихання у працюючих в безклапанних півмасках, розв'язок цієї системи можливий тільки чисельними методами або аналітично з певними спрощеннями. У разі лінійної залежності коефіцієнта фільтрування від кількості частинок, яку подамо як

$\gamma(x,t) = v_0 \gamma_0 b_2 n$, де b_2 – коефіцієнт, що характеризує взаємозв'язок між коефіцієнтом проникнення фільтра та розмірами аерозольних часток з урахуванням часу фільтрування, (с/м), розв'язок рівнянь (14) і (15) при початковій умові $\beta_1(x,0)$ і при $t = 0$, має вигляд

$$n(x,t) = \frac{n_0}{1 + \exp\left\{x \ln \frac{v(t)}{v(0)} + \exp(b_2 v(0)x) - x^2 b_2\right\}}, \quad (18)$$

$$\beta_1(x,t) = \beta \exp\left[-\gamma_0 b_2 \int_0^t \bar{n}(x,t)\right]. \quad (19)$$

Аналіз отриманого розв'язку дозволяє зробити висновок, що збільшення швидкості фільтрування при однаковій структурі фільтра призводить до зростання насичення пилом його внутрішніх шарів (рис. 6).

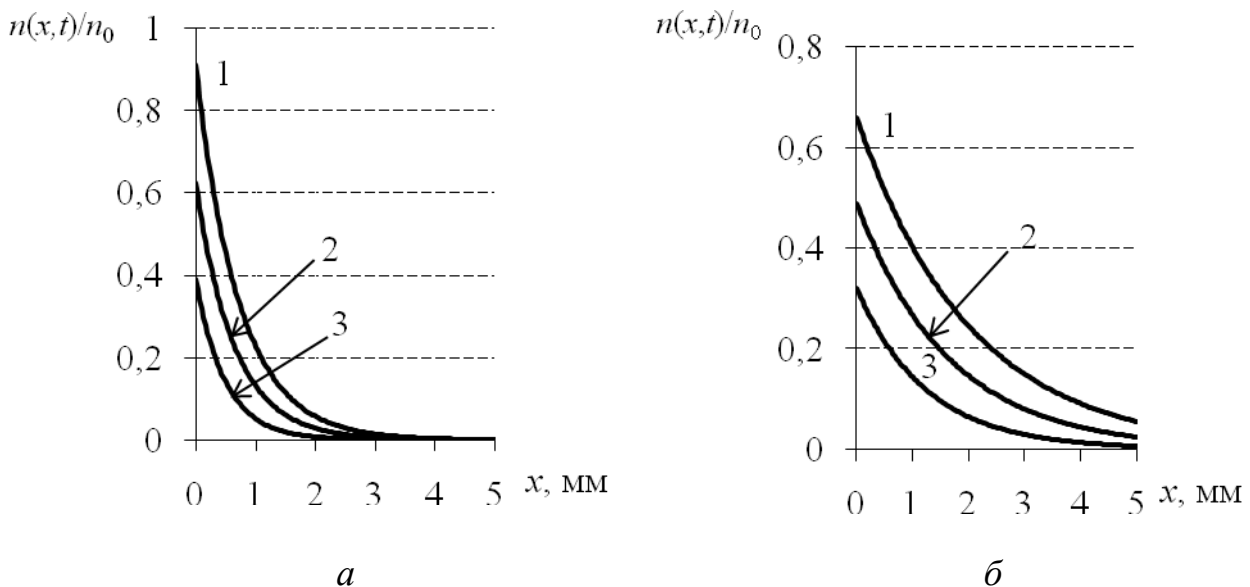


Рис. 6. Залежність відносної кількості пилу ($n(x,t)/n_0$) від товщини фільтрувального шару (x) в різні моменти часу t , хв: 60 (1); 30 (2); 15 (3) та при різній швидкості фільтрування $v = 0,5$ см/с (а) і $v = 2$ см/с (б)

Величину перепаду тиску при об'ємній фазі накопичення пилового осаду і змінній швидкості повітряного потоку можна визначити за формулою

– для фільтрувальних півмасок

$$\Delta p_{\text{сд}}(x, t) = \frac{\mu v_0 \sin(\omega t)}{a_n} \int_0^{m_2} \frac{R_0(a_n) \eta}{\eta(a_n)} \quad (20)$$

– для еластомірних респіраторів, у яких процес видиху відбувається через клапани видихання

$$\Delta p(x, t) = \begin{cases} \Delta p_{\text{сд}}(x, t); & 0 < \omega t \\ \Delta p_{\text{суд}}(t); & \pi < \omega t < \end{cases} \quad (21)$$

де R_0 – безрозмірна сила опору волокна з пилом при змінному режимі руху повітря; $\Delta p_{\text{суд}}(x, t)$ – перепад тиску, який виникає через клапан видиху респіратора під час процесу видихання, Па (розраховуємо за формулою $\Delta p_{\text{суд}}(t) = R_k v$, де R_k – опір клапанної коробки повітряному потоку, Па·с/м³).

Порівняння результатів теоретичних розрахунків зміни перепаду тиску на респіраторі типу РПА при накопиченні пилового осаду за формулою (21) з визначеними експериментальними даними, показали задовільний збіг (рис. 7).

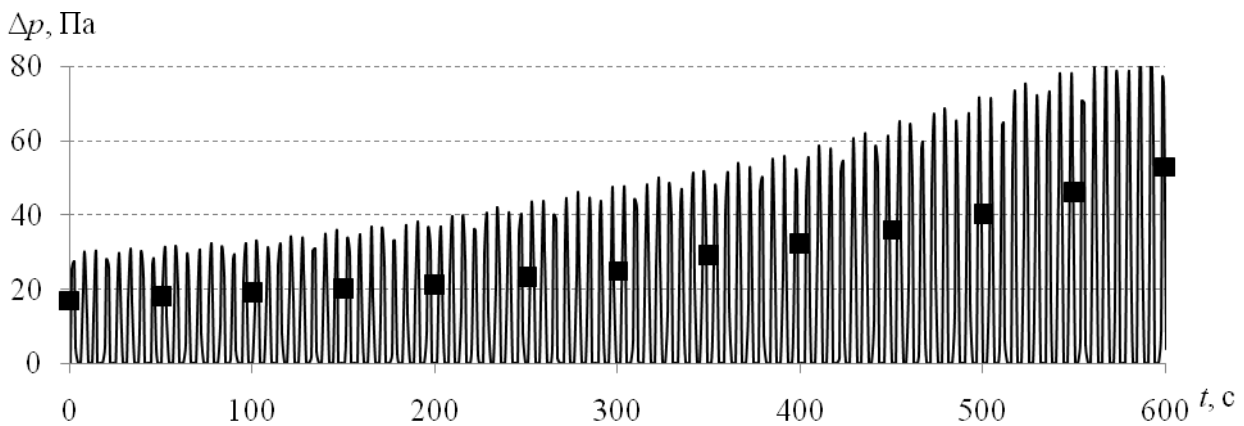


Рис. 7. Графік зміни перепаду тиску (Δp) на фільтрах респіратора РПА в часі (t) при пульсуючому потоці з об'ємною витратою 1,5 л за хід; частотою коливальних рухів 20 хв^{-1} при запыленні вугільним пилом з концентрацією 600 мг/м^3 , розрахованих за формулою (20); ■ – експериментальні дані

У четвертому розділі розглянуто процес формування пилового осаду на поверхні гофрованих і багатошарових фільтрів, що дозволило розробити методи розрахунку вискоєфективних фільтрувальних засобів з мінімальним опором диханню і високою пиломісткістю.

Існують два загальноновизнані шляхи покращення технічних характеристик фільтрувальних елементів. Перший – конфігурування (гофрування) фільтрувального матеріалу, яке збільшує площу фільтра, отже, зменшує швидкість повітряного потоку і покращує ергономічні показники ЗІЗОД. Другий шлях полягає у виготовленні фільтрувальних елементів із змінною щільністю упакування волокон за товщиною, що дозволяє мінімізувати зростання перепаду тиску при накопиченні аерозолі.

Установлено, що перепад тиску на чистому гофрованому фільтрі можна розрахувати за формулою

$$\Delta p = \frac{3\mu v H}{a^2} \left[1 + \frac{2ch(\lambda_1 H_\phi)}{\lambda_1 H_\phi sh(\lambda_1)} \right], \quad (22)$$

де H_ϕ – висота гофрів, м; w – ширина каналу між гофрами, м; λ_1 – параметр конфігурації, 1/м; H – товщина фільтрувального шару, м; a – радіус волокон, м.

Параметр конфігурації λ_1 характеризує рівень впливу як властивостей фільтрувального матеріалу, так і геометрії фільтра на ступінь нерівномірності розподілу швидкості повітряного потоку за висотою гофрів. Крім того, він ураховує і змикання гофрів, що залежить від кількості повітря і деформації фільтра в коробці, тобто

$$\lambda_1 = \sqrt{i}, \quad (23)$$

де k_2 – коефіцієнт нерівномірності розподілу повітряного потоку за висотою гофрів, м²/с; Q – витрата повітря, м³/с; w – ширина каналу між гофрами, м.

З умови мінімальності Δp (22) було визначено ширину каналу і крок складки при заданій висоті фільтрувального елемента, за якою перепад тиску буде найменшим

$$\frac{H_\phi^3}{w^3} = \frac{u^2}{i}; \quad w = \sqrt[3]{\frac{\epsilon}{i}}, \quad (24)$$

де $u = \lambda$.

Однак у процесі фільтрування кількість пилового осаду може значно вплинути на розподіл швидкості повітряного потоку за висотою гофри (рис. 8, 9), що позначиться, в першу чергу, на ергономічних показниках. Тому необхідно враховувати концентрацію пилу, при якій буде експлуатуватися респіратор

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{4k_3 H}{3Q a^2} R_0}, \quad (25)$$

де k_3 – коефіцієнт нерівномірності розподілу повітряного потоку за висотою гофрів при накопиченні пилового осаду, м²/с.

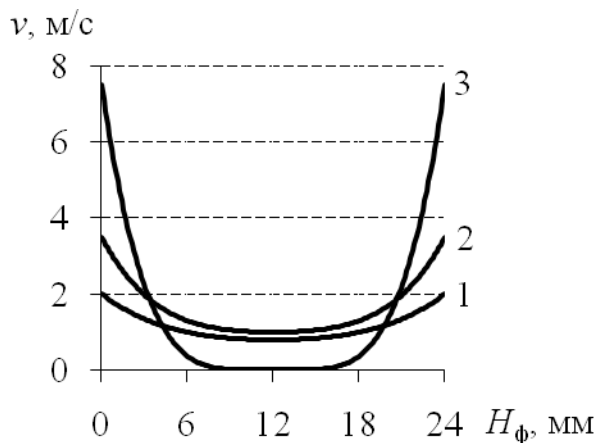


Рис. 8. Криві розподілу швидкості фільтрування (v) за висотою гофри (H_ϕ) при різних значеннях коефіцієнта (λ_2): 0,1 (1); 0,5 (2); 1,1 (3)

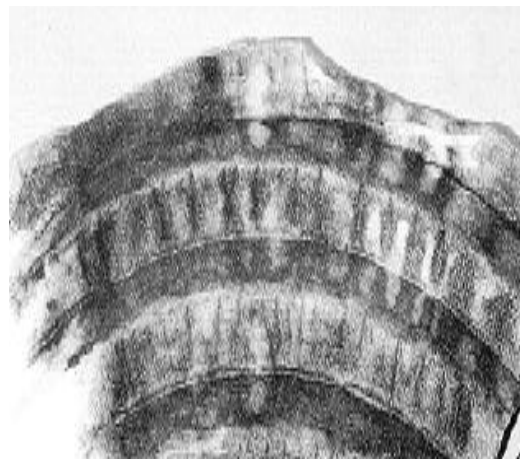


Рис. 9. Вигляд фільтра після запылення (світлі ділянки по середині гофрів свідчать про нерівномірний розподіл швидкості фільтрування)

На рис. 10 наведена залежність λ_2 від відносної густини пилового осаду в діапазоні $0,02 < \beta_1 < 0,15$ у гофрованих фільтрах респіраторів типу РПА, які виготовлені з поліпропіленового фільтрувального матеріалу (діаметр волокон 2,5 мкм) з висотою $H_\phi = 24$ мм; довжиною $L_\phi = 80$ мм та шириною вхідного каналу 2,4 мм. При зростанні кількості пилового осаду коефіцієнт λ_2 зменшується, унаслідок чого швидкість фільтрування за висотою гофри дещо вирівнюється за рахунок перерозподілу потоків (рис. 11).

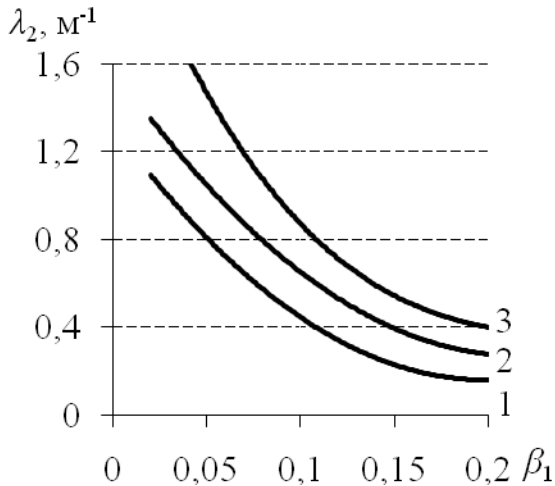


Рис. 10. Залежність величини коефіцієнта (λ_2) від щільності пилового осаду (β_1) для фільтра респіратора РПА при різних витратах повітря Q , л/хв: 30 (1); 60 (2); 90 (3)

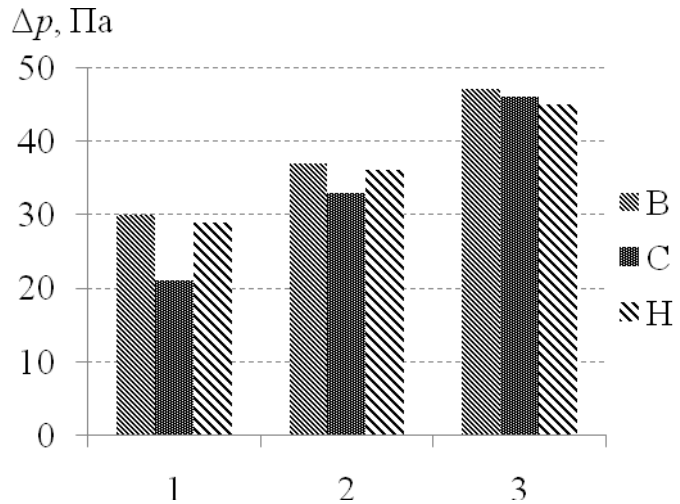


Рис. 11. Діаграма зміни перепаду тиску (Δp) за висотою гофри (H_ϕ) у верхній (В), середній (С) та нижній (Н) частинах при запыленні фільтра потоком з концентрацією 100 мг/м³; швидкість фільтрування 0,5 см/с через 5 (1); 30 (2); 60 (3) хв

До особливостей розрахунку багатошарових фільтрів слід віднести визначення радіусів волокон та розподіл відносної густини упакування волокон. Оскільки останній шар фільтра визначає захисну ефективність усього респіратора, то його радіус волокон встановлено, виходячи із заданого мінімального коефіцієнта проникнення аерозолю

$$a = \frac{2_1}{b'} \quad (26)$$

де $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт проникнення фільтрувального шару (задається величиною захисної ефективності ЗІЗОД).

Радіус волокон зовнішнього шару визначимо, виходячи з величини мінімального перепаду тиску фільтра при завершенні об'ємної фази фільтрування

$$a = \sqrt{\frac{4\mu\beta H v}{\Delta p_{\text{min}}(t')R}} \quad (27)$$

Кількість фільтрувальних шарів (k) отримаємо з урахуванням захисної ефективності та максимального об'єму пилу, який може бути накопичений на фільтрі при мінімальному перепаді тиску на ЗІЗОД у кінці процесу фільтрування

$$k = \frac{c}{\rho_{\text{ч}}}, \quad (28)$$

де V_{max} – максимальний об'єм пилу, який може бути накопичений на одному фільтрувальному шарі при мінімальному перепаді тиску на фільтрі в кінцевий момент часу .

На рис. 12 зображені криві залежності зміни перепаду тиску від пиломісткості $\Delta p(P_{\text{ф}})$, які були розраховані для умов фільтрування вугільного пилу із середнім розміром частинок 10 мкм при швидкості повітряного потоку $v = 1,5$ м/с з відносною густиною упакування чистих волокон $\beta = 0,05$ та товщиною фільтрувального шару $H = 6$ мм для різних діаметрів волокон d , мкм: 2 (1); 3,5 (2); 5 (3).

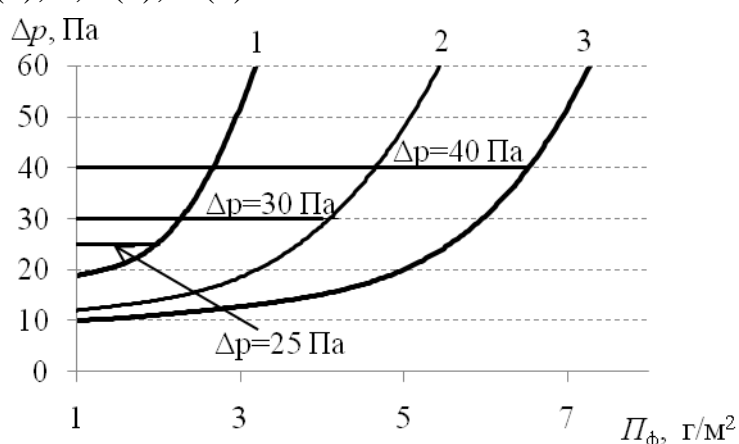


Рис. 12. Залежність перепаду тиску (Δp) від пиломісткості ($P_{\text{ф}}$) фільтра при діаметрах волокон d , мкм: 2 (1); 3,5 (2); 5 (3)

Горизонтальні лінії на рисунку відповідають заданим перепадам тиску в системі. Ділянки кривих (1, 2, 3) до перетину їх з горизонтальними лініями характеризують об'ємний процес фільтрування у зовнішньому шарі. Установлено, що для заданої величини мінімального перепаду тиску (наприклад 40 Па) існує таке значення радіуса волокон попе-

реднього фільтра, при якому кількість пилу буде більша, ніж в інших системах. Точки перетину кривих відповідають початку формування шару осілого пилу на поверхні фільтра. Отже, попередній фільтр працює тільки в режимі об'ємного фільтрування. Збільшення розміру волокон зовнішнього шару призведе до швидкого зростання опору повітряному потоку останнього шару за рахунок швидкого забивання його поверхні крупними частинками. Навпаки, зменшення діаметра волокон попереднього шару призведе до швидкого зростання його опору через утворення поверхневого пилового осаду.

Радіус волокон попередніх шарів фільтра можна встановити відповідно до заданої пиломісткості системи і розмірів аерозольних частинок (рис. 13). Для забезпечення максимальної кількості осілого пилу на фільтрах слід урахувувати, що зі збільшенням діаметра аерозольних частинок, необхідно збільшувати і діаметр волокон. З іншого боку, радіус волокон попереднього фільтра повинен бути не менше 6 мкм. З рис. 14 видно, що в такому випадку розміри аерозольних частинок суттєво не впливають на величину перепаду тиску.

З умови мінімальності Δp (12) встановлено розподіл відносної густини упакування волокон за товщиною фільтра

$$\beta(x) = \frac{G}{BH} (1 + \tau_1 n(\chi, t'))^{-q'}, \quad (29)$$

де $B =$; G – функція, яка визначає зміну концентрації аерозольних частинок за товщиною фільтра; $\tau_1 = \theta(t)L$; q – емпіричний коефіцієнт, що враховує зміну відносної густини упакування волокон при накопиченні пилового осаду (складає 0,5...2,8).

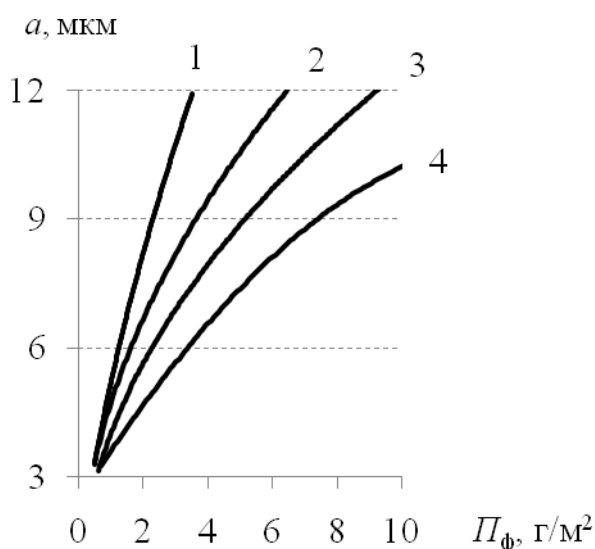


Рис. 13. Залежність радіуса волокон (a) попереднього фільтра від його пиломісткості (P_ϕ) для різних розмірів осілих аерозольних частинок a_1 , μm : 5 (1); 2 (2); 1 (3); 0,5 (4)

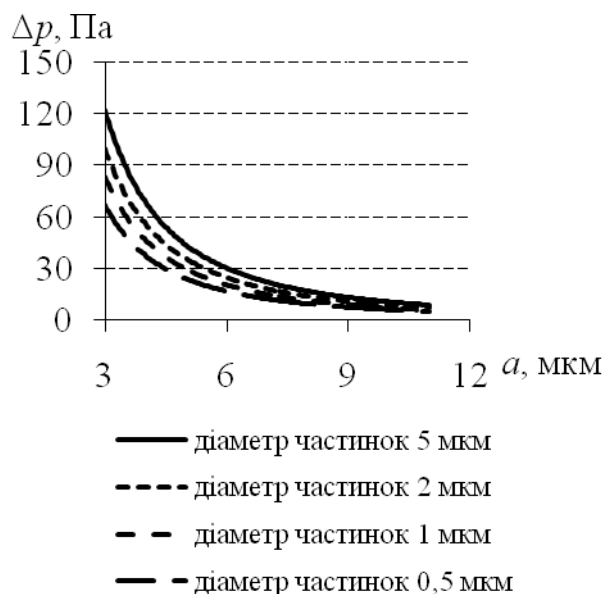


Рис. 14. Залежність перепаду тиску (Δp) попереднього фільтра від радіуса волокон (a) при осіданні аерозольних частинок

На рис. 15 та 16 наведені результати розрахунків розподілу відносної густини упакування волокон за товщиною для поліпропіленового фільтрувального матеріалу з параметрами, що вказані вище.

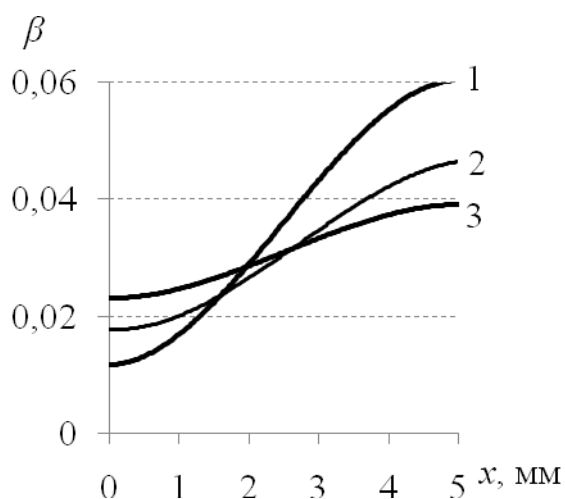


Рис. 15. Розподіл відносної густини упакування волокон (β) за товщиною фільтрувального шару (x) для кінцевого часу запилення $t_k = 30$ хв; при $q = 0,5$ $= 1,5$ (1); $q = 0,5$ $= 1$ (2); $q = 0,5$ $= 0,5$ (3)

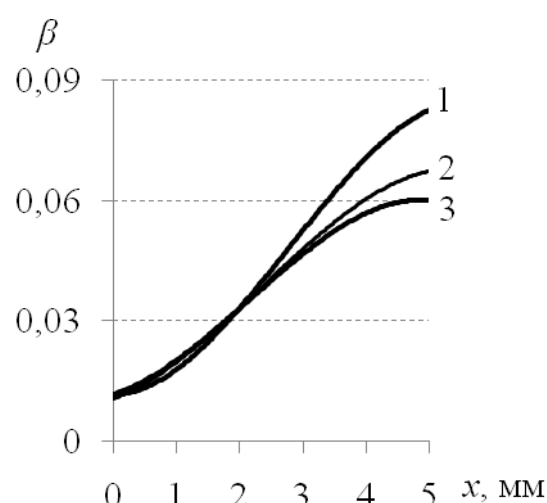


Рис. 16. Розподіл відносної густини упакування волокон (β) за товщиною фільтрувального шару (x) для кінцевого часу запилення $t_k = 60$ хв; при $q = 0,5$ $= 1,5$ (1); $q = 0,5$ $= 1$ (2); $q = 0,5$ $= 0,5$ (3)

Основні параметри розроблених фільтрів для респіратору РПА

Основні параметри фільтрів	Показники розроблених фільтрів					
	Зразок 1		Зразок 2		Зразок 3	
	Першого	Останнього	Першого	Останнього	Першого	Останнього
Радіус волокон a , мкм	6	3	6	2,5	6	2
Відносна густина упакування волокон β	0,03	0,05	0,03	0,055	0,03	0,06

Проведені експериментальні дослідження із запилення спеціально виготовлених двошарових зразків фільтрів (табл. 2) показали, що максимальна кількість пилу осіла на фільтрах, відносна густина упакування волокон яких знаходиться у діапазоні 0,03 – 0,06, а діаметр волокон від 2 до 6 мкм.

У п'ятому розділі вирішувалася задача вдосконалення методик з перевірки якості фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання на змінному потоці повітря. При цьому досліджувалися переважно процеси, пов'язані з визначенням опору повітряному потоку та коефіцієнти проникнення, захисту та підсмоктування, оскільки вони є головними показниками. Кількість неякісних ЗІЗОД, яка потрапить на підприємство після проведення сертифікаційних випробувань, можна розрахувати за формулою

$$N_{н.р.} = N \cdot h_g \cdot b_g + N(1-h_g) \cdot (1-a_g), \quad (30)$$

де N – загальна кількість працівників, які використовують ЗІЗОД; h_g – коефіцієнт, що показує долю респіраторів, які при лабораторних випробуваннях показали відповідний результат; b_g – величина невизначеності вимірювань, яка показує долю неякісних ЗІЗОД, що пройшли випробування через помилку оператора; a_g – величина невизначеності вимірювань, яка характеризує точність методу випробувань.

Коефіцієнт h_g розраховується за результатами перевірки фільтрувальних респіраторів на добровольцях і характеризує якість ізолювальних властивостей півмаски за смугою обтюрації. Для його визначення необхідно знати кількість випробувачів, у яких зафіксовано більший коефіцієнт захисту респіраторів від наведеного у відповідних нормативних документах. Величини a_g і b_g залежать від невизначеності вимірювань методик проведення перевірки якості ЗІЗОД, а також компетенції персоналу, використання якісного обладнання, впливу умов проведення випробувань та ін. Для зменшення кількості неякісних респіраторів, які можуть потрапити на виробництво, запропоновано підвищити достовірність результатів випробувань за рахунок удосконалення стендів та методик з перевірки якості протипилових респіраторів за такими показниками як опір диханню, коефіцієнт захисту, стійкість до запилення.

В опрацьованих методиках передбачено додатковий аналіз проведення процедур, що включає порівняння отриманих даних з еталонними показниками, контроль кріплення півмаски на манекені голови, витримку температурних і швидкісних режимів випробувань та проведених розрахунків. Крім того, для підвищення точності розрахунку коефіцієнта h_g передбачено збільшення сумарної чисельності випробувачів до 25, які підбираються за спеціальними таблицями, розробленими відповідно до розподілу антропометричних

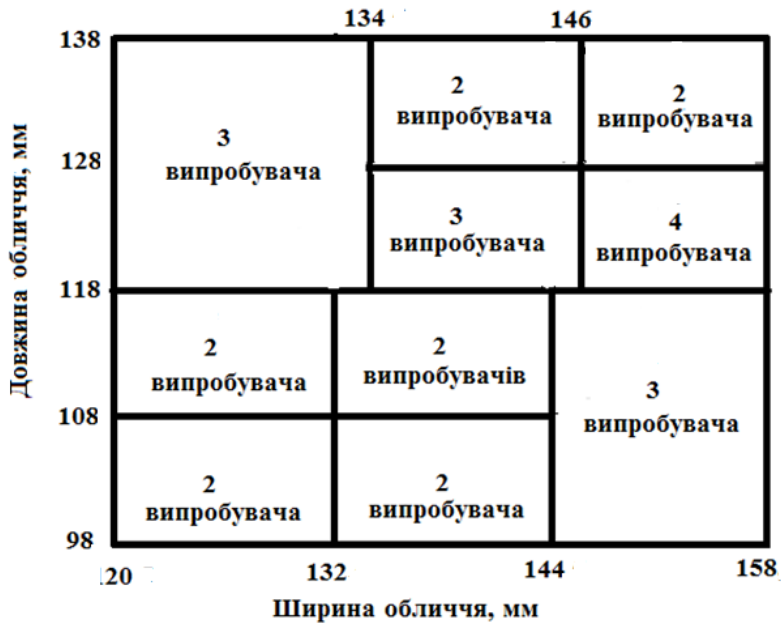


Рис. 17. Спеціальна таблиця для підбору випробувачів з перевірки респіраторів

ти випробувачів, зазначеному в ДСТУ EN 143 – 2002.

У шостому розділі наведено результати виробничої і лабораторної перевірки захисних і ергономічних властивостей сучасних фільтрувальних ЗІЗОД. Встановлені закономірності зміни коефіцієнтів проникнення та захисту протипилових респіраторів за тест-аерозолями від опору диханню фільтрів з урахуванням величин підсмоктувань через смугу обтюрації півмасок.

У ході виробничих випробувань встановлено, що коефіцієнт проникнення у виробничих умовах, на відміну від лабораторних, є величиною непостійною і з часом погіршується (рис. 18, 19). До основних причин такої ситуації відносять зростання опору диханню за рахунок збільшення пилових відкладів на фільтрах, сповзання півмаски в ході виконання трудових завдань, необхідності розмовляти, а також за рахунок наявності додаткових зазорів за смугою обтюрації.

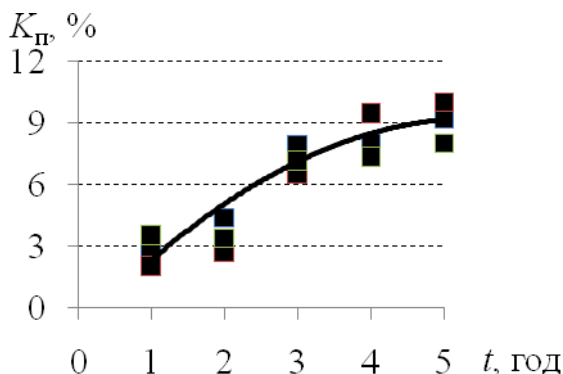


Рис. 18. Залежність коефіцієнта проникнення респіратора ($K_{\text{п}}$) від часу (t) його експлуатації в умовах гірничих виробок із середньо-змінною концентрацією пилу 300 мг/м^3

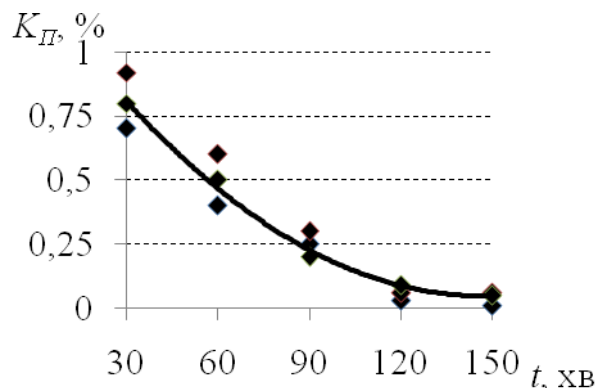


Рис. 19. Залежність коефіцієнта проникнення фільтра ($K_{\text{п}}$) від часу (t) його заповнення вугільним пилом з концентрацією 300 мг/м^3 при витраті повітря $30 \text{ дм}^3/\text{хв}$ у лабораторних умовах

параметрів обличчя типових споживачів. На рис. 17 наведено одну з них для перевірки респіраторів, призначених для працівників вугільних шахт. В її десяти прямокутниках вказується необхідна кількість людей з певними рисами, які охоплюють весь діапазон розмірів облич робітників, які працюють на гірничих підприємствах. Перевірені таким чином ЗІЗОД будуть підходити 90 % працівників, на відміну від існуючого способу підбору десяти

Отриманий результат пояснюється також наявністю пікових показників при вентиляції легенів, адже коефіцієнт проникнення респіраторів при змінному потоці до $100 \text{ дм}^3/\text{хв}$ на 10 – 15 % більший від отриманих значень на постійному потоці повітря (рис. 20), а в подальшому зі зростанням витрат повітря і розмірів аерозольних частинок ця різниця зменшується (рис. 21).

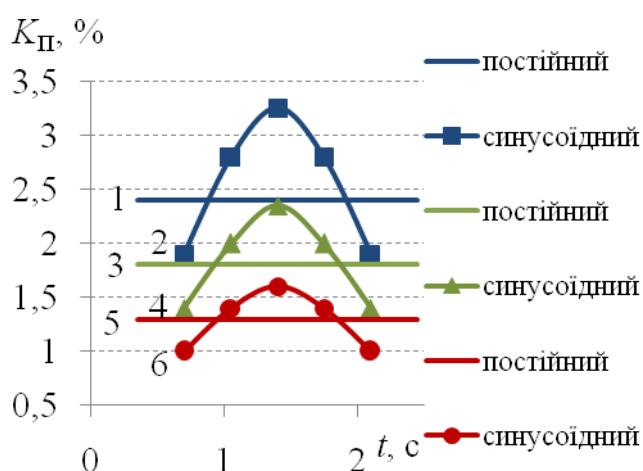


Рис. 20. Залежність коефіцієнта проникнення (K_{Π}) респіатора від часу фільтрування (t) при постійній (1, 3, 5) і циклічній (2, 4, 6) витратах повітря 110 л/хв з діаметром аерозольних частинок $d_{\text{ч}}$, мкм: 1, 2 – 0,2...0,4; 3, 4 – 0,5...0,7; 5, 6 – 0,9...1,2

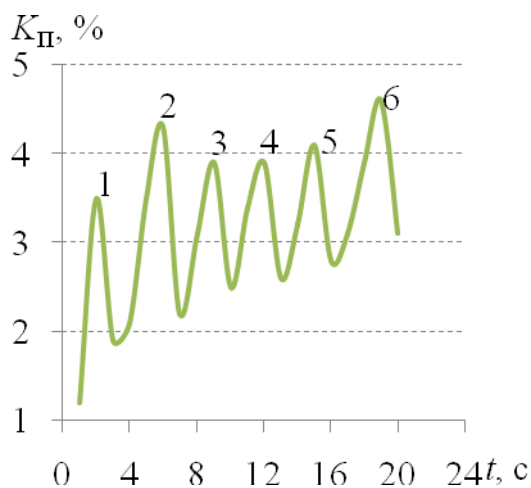


Рис. 22 Залежність коефіцієнта проникнення (K_{Π}) легкої півмаски від часу (t) при циклічному потоці при виконанні різних вправ: 1 – нормальне дихання; 2 – глибоке дихання; 3 – повороти голови з боку в бік; 4 – повороти голови зверху вниз; 5 – розмова; 6 – нахили тулуба

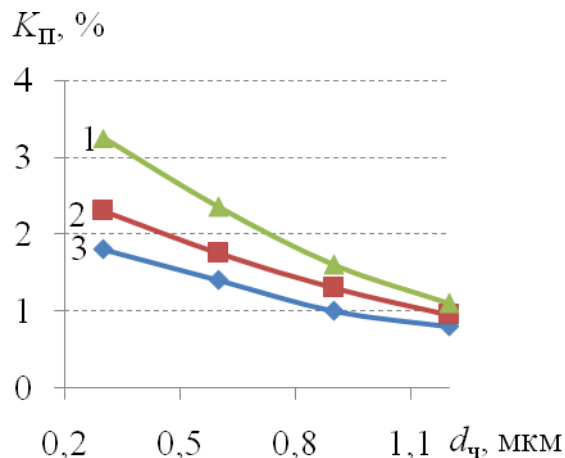


Рис. 21. Залежність коефіцієнта проникнення (K_{Π}) респіатора від діаметра ($d_{\text{ч}}$) аерозольних частинок при витраті повітря Q , л/хв: 110 (1); 95 (2); 60 (3)

На погіршення захисної ефективності під час виробничих випробувань впливає наявність «мертвого простору» у еластомірних півмасках, де з часом зростає концентрація шкідливих речовин, за рахунок не повного видалення отруйного аерозолі при фазі видихання. Їх кількість найбільше фіксується при глибокому диханні, розмові та нахилах тулуба (рис. 22).

Отже, проведення лабораторних перевірок ЗІЗОД не дозволяє прогнозувати їх реальну захисну ефективність, а встановлення коефіцієнта проникнення у виробничих умовах викликає значні труднощі. Запропоновано обчислювати реальний коефіцієнт захисту респіраторів з урахуванням величин підсмоктувань через смугу обтюраторії півмасок

$$K_3 = \left[K_{\Pi}^{\phi} + \frac{Q_s}{Q} (K_{\text{ПВ}} - K_{\Pi}^{\phi}) \right], \quad (31)$$

де K_{Π}^{ϕ} – коефіцієнт проникнення через

фільтрувальний елемент; $K_{пв}$ – коефіцієнт проникнення через витоки за смугою обтюрації Q – загальна витрата повітря через респіратор, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $Q_{\text{в}} = k_{\text{в}} (\Delta p)^{a_0}$ ($Q_{\text{в}}$ – витрата повітря через отвори за смугою обтюрації, $\text{м}^3/\text{с}$;
 $k_{\text{в}}$, a_0 , b_0 – константи, які визначаються експериментально для кожного типу півмасок (для респіратора РПА $k_{\text{в}} = 0,05 \dots 0,1$, $a_0 = 0,56 \dots 0,92$, $b_0 = 0,5 \dots 1$); $d_{\text{в}}$ – розмір еквівалентного отвору між півмаскою і обличчям людини, мм.

Реальний розмір щілини за смугою обтюрації ЗІЗОД можна оцінити за допомогою відкаліброваних трубочок (за діаметром і довжиною), розміщених у герметично закріпленому обтюраторі півмаски на манекені голови (рис. 23). Шляхом порівняння величин опору диханню респіратора, одягненого на людину, з відповідним значенням у півмаски з каліброваними трубочками визначається еквівалентний отвір за смугою обтюрації. Дослідження показали, що при еквівалентному отворі більше одного міліметра захисна ефективність респіратора вже не залежить від якості фільтрів (рис. 24). Наприклад, у еластомірної півмаски РПА з діаметром каліброваної трубочки 2 мм коефіцієнт підсмоктування збільшується з 2 до 12 % при зменшенні перепаду тиску з 40 до 22 Па при витраті повітря $30 \text{ дм}^3/\text{хв}$.

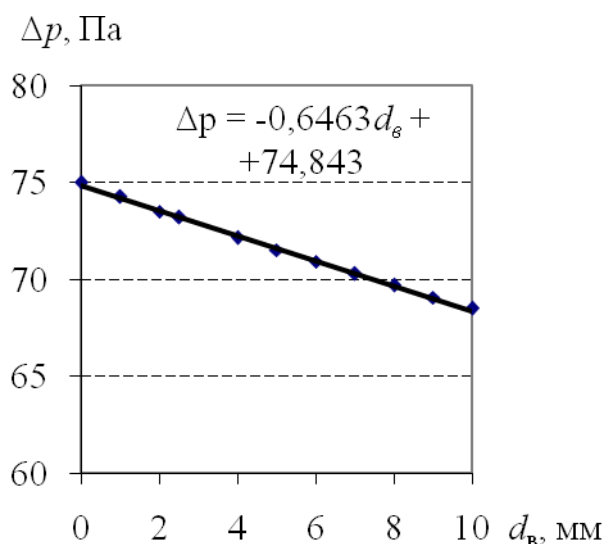


Рис. 23. Залежність перепаду тиску на півмасці респіратора типу РПА (Δp) від еквівалентного отвору ($d_{\text{в}}$) за смугою обтюрації при витраті повітря $95 \text{ дм}^3/\text{хв}$.

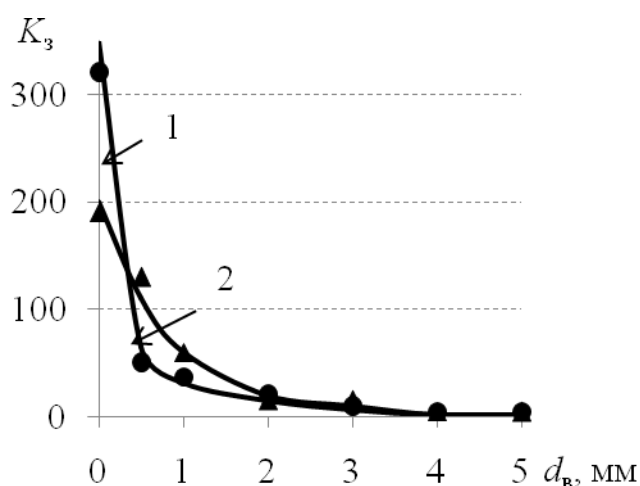


Рис. 24. Залежність коефіцієнта захисту (K_3) респіратора типу РПА з фільтрами третього ФП-310 (1) і другого класів ФП - 210 (2) від величини отвору ($d_{\text{в}}$) за смугою обтюрації при загальній витраті повітря $95 \text{ дм}^3/\text{хв}$.

Величина додаткових підсмоктувань залежить також від конструкції клапана видихання, його товщини, еластичності матеріалу та способу закріплення. Найбільше значення коефіцієнта проникнення зафіксовано при закриванні клапана, під дією розрідження. З'ясовано, що для забезпечення високої герметичності клапанного вузла необхідно, щоб товщина клапана із гуми еластичністю до 50 % коливалась у діапазоні $0,5 \dots 0,8 \text{ мм}$.

Останнім елементом, який впливає на захисні властивості ЗІЗОД, є система

кріплення півмаски на обличчі. За умови нерівномірного розподілу зусиль кріплення з'являються додаткові нещільності за смугою обтюраторії. Дослідження показали, що найбільш імовірним місцем підсмоктувань є рото-носова зона, де тиск може скласти менше 2 кПа, тоді як для запобігання проникнення аерозолю за смугою обтюраторії його значення має бути не менше 2,5 кПа.

У сьомому розділі розроблено заходи щодо підвищення захисту органів дихання працівників при використанні протипилових ЗІЗОД. Визначено можливі шляхи вдосконалення конструкцій еластомірних респіраторів та встановлено їх безпечну область використання.

Оскільки покращити умови праці за рахунок впровадження новітніх технологій видобутку вугілля на даному етапі неможливо, то для підвищення протипилового захисту гірників від небезпечної дії вугільного пилу запропоновано спеціальну систему індивідуального протипилового захисту гірників, яка складається з таких етапів:

- оцінки можливих ризиків для людини, пов'язаних з виробничим процесом, і забезпечення відповідної якості респіраторів;
- вибору респіратора з достатнім ступенем захисту виходячи з конкретних умов експлуатації та з урахуванням можливих обмежень, викликаних виробничим процесом;
- підготовки, тренування та заохочення працівників до правильного і своєчасного використання ЗІЗОД;
- забезпечення якісного зберігання, очищення та обслуговування ЗІЗОД.

Так, тільки за рахунок своєчасного і правильного використання протипилових респіраторів протягом усієї зміни можна підвищити ефективність захисту гірників до 70 %.

На основі аналізу результатів багатьох виробничих досліджень захисних властивостей фільтрувальних респіраторів і за допомогою моделювання найгірших умов методом Монте-Карло було встановлено значення області їх безпечного використання за методикою біноміальної статистики. Так, респіратори типу РПА з фільтрами другого класу захисту, на відміну від встановленого обмеження в НПАОП 0.00-1.04-07 (до 400 мг/м³), можна використовувати при концентраціях пилу, які не перевищують 10 ГДК.

Крім того, передбачені такі дії з удосконалення існуючих фільтрувальних ЗІЗОД для використання на вугільних підприємствах:

- застосування багатошарових фільтрів і півмасок з низьким опором диханню і високою пиломіскістю (рис. 25);
- оснащення півмасок додатковими ущільнювачами за смугою обтюраторії, наприклад надувним обтюратором, яка повторює контур обличчя і складається з кільця еластичного матеріалу, що утворює надувну камеру, фіксація якого на внутрішній поверхні півмаски забезпечується за рахунок пружного профілю, а на зовнішній стороні утримується за допомогою еластичної стрічки (рис. 26);
- встановлення додаткових елементів для кріплення наголів'я півмасок з метою забезпечення рівномірного зусилля притискання за смугою обтюраторії з урахуванням антропометричних відмінностей обличчя;

▪ збільшення площі фільтрів респіратора, здійснюється за рахунок розташування фільтрувальних елементів на шахтарській касці та з'єднання їх з півмаскою через короткі шланги з низьким опором диханню.

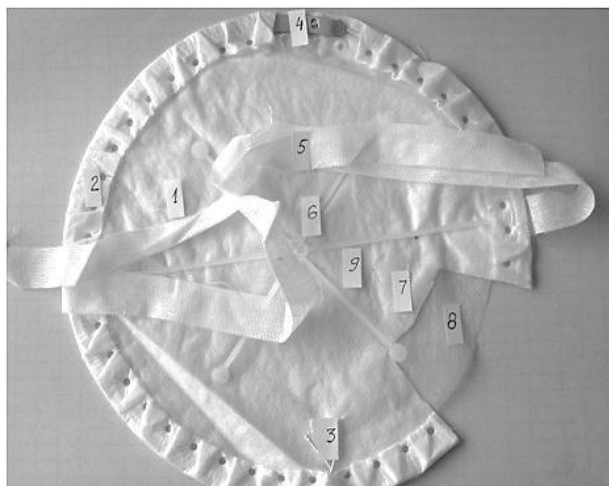


Рис. 25. Фільтрувальна півмаска:
1 – багатошаровий фільтр; 2 – обтюратор; 3 – еластичний шнур; 4 – пластина для обтискання носа; 5 – еластомірна півмаска; 6 – розпірка; 7 – фільтрувальні шари, що розрізняються товщиною поверхневої щільності; 8, 9 – захисний шар

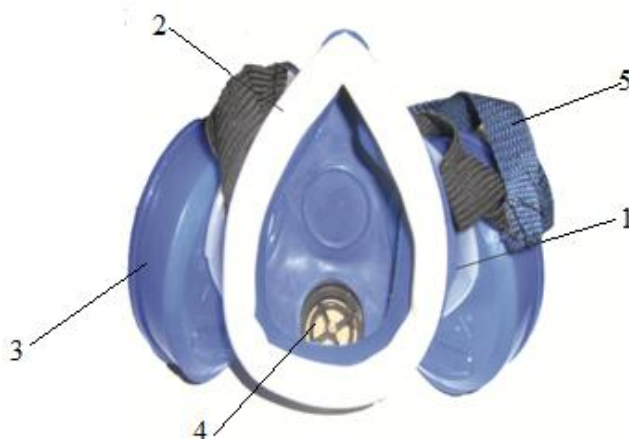


Рис. 26. Протипиловий респіратор РПА з надувним обтюратором: 1 – еластомірна півмаска; 2 – надувний стрічки; 3 – фільтрувальна коробка з фільтром; 4 – клапанна коробка з клапаном видихання; 5 – наголів'я

Результати досліджень, використані при розробці технологічних умов для виготовлення еластомірних і легких респіраторів на виробництві ТОВ НВП «Стандарт», обладнання та методик проведення перевірки їх якості відповідно до європейських стандартів у випробувальній лабораторії ТОВ ПМТП «Спецнаб». Крім того, розроблена методика з вибору фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання, яка впроваджена на ПАО «ДТЕК Павлоградвугілля».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною науково-дослідною роботою в якій розв'язана важлива для охорони праці наукова проблема з розвитку теорії фільтрування аерозолів засобами індивідуального захисту органів дихання з метою попередження професійних захворювань пилової етіології працівників гірничих підприємств.

Найбільш важливі наукові та практичні результати, висновки і рекомендації полягають у такому:

1. Встановлено закономірності руху повітряного потоку при нестационарному режимі через пористе середовище, які дозволили визначити залежність перепаду тиску на фільтрувальному респіраторі від параметрів фільтра, об'єму та частоти дихання людини. Визначено, що величина опору

волокон при змінному режимі руху повітря залежить не тільки від тертя, а й від інерційних коливань повітря навколо них, зменшення величини яких досягається за рахунок варіювання пористістю і проникністю фільтрувального матеріалу, що призводить до зниження перепаду тиску на фільтрах через вирівнювання повітряного навантаження.

2. Удосконалено математичну модель процесу фільтрування аерозолів фільтрами, яка враховує накопичення пилового осаду на волокнах, що дозволило визначити вплив дисперсного складу пилу на зростання перепаду тиску у респіраторних при різних фазах фільтрування.

3. Встановлено закономірності зростання перепаду тиску на фільтрах для клапанних і безклапанних півмасок з урахуванням процесу зміни відносної густини пилового осаду за товщиною фільтра, величини коефіцієнта фільтрування, швидкості фільтрування та концентрації аерозольних частинок у повітрі робочої зони.

4. Розроблено метод розрахунку гофрованих фільтрів з урахуванням розподілу повітряного потоку за висотою гофри фільтрів, параметрів фільтрувального матеріалу, конфігурації фільтрувального елемента та концентрації пилу, що дозволило встановити відношення між шириною каналу і висотою гофри, яке забезпечить мінімальну величину перепаду тиску за рахунок рівномірного розподілу швидкості фільтрування по поверхні фільтра.

5. Розроблено метод розрахунку параметрів багатошарових фільтрів: радіуса волокон, відносної їх густини упакування та товщини фільтрувального шару для забезпечення високої пиломісткості при мінімальному перепаді тиску. Доведено, що максимальна пиломісткість багатошарової системи спостерігається тільки під час об'ємної фази фільтрування аерозолу, що дозволило визначити кількість фільтрувальних шарів багатошарових фільтрів з урахуванням захисної ефективності респіратора, концентрації пилу у повітрі робочої зони і часу експлуатації.

6. Запропоновано модель розподілу зміни відносної густини упакування волокон за товщиною фільтра при змінній швидкості фільтрування для забезпечення мінімального перепаду тиску. Розроблено конструкції багатошарових гофрованих і негофрованих фільтрувальних елементів з урахуванням отриманих закономірностей, які на відміну від відомих зарубіжних аналогів характеризуються суттєво нижчим опором диханню і високою пиломісткістю.

7. Запропоновано алгоритм з визначення кількості неякісних респіраторів, які можуть успішно пройти лабораторні випробування. Удосконалено методики випробувань захисних і ергономічних показників фільтрувальних ЗІЗОД за рахунок впровадження перевірок на змінному режимі руху повітря, введення додаткового аналізу проведених процедур, що включає порівняння отриманих даних з еталонними показниками, контролю закріплення півмаски на манекені голови, витримки температурних і швидкісних режимів, збільшення кількості випробувачів, які підбираються за спеціальними таблицями.

8. Визначено залежність коефіцієнта захисту протипилових респіраторів від коефіцієнта проникнення фільтрів, їх опору диханню та величини

підсмоктувань через смугу обтюрації півмасок на постійному і змінному режимах повітряного потоку у лабораторних і виробничих умовах, що дозволило встановити причини погіршення захисної ефективності ЗІЗОД через наявність пікових показників у циклі дихання, збільшення «мертвого простору», утворення нещільностей за смугою обтюрації під час виконання виробничих завдань через недосконалу систему кріплення наголів'я та клапанну систему, що дозволяє розрахувати безпечний термін захисної дії.

9. Встановлено залежність між опором диханню фільтрів, розміром зазору за смугою обтюрації і величиною підсмоктувань, які погіршують коефіцієнт захисту ЗІЗОД. Запропоновано метод визначення еквівалентного отвору між обличчям і респіратором шляхом порівняння величин перепадів тиску між півмаскою, одягненою на людину, та відповідним значенням у півмаски з розміщеними за смугою обтюрації трубочок певного діаметра і довжини, які імітують реальну щілину, що дозволило розраховувати реальну захисну ефективність ЗІЗОД у лабораторних умовах при імітації різних видів виробничого навантаження.

10. Запропоновано модель для розрахунку рівномірного розподілу зусиль за смугою обтюрації еластичних і одноразових півмасок з різними системами кріплення наголів'я, що дозволило розрахувати конструктивні параметри півмасок, а саме: її форму та місця для розташування елементів кріплення наголів'я респіраторів, фільтрувальних коробок і системи клапанів для підвищення їх ізоляційних властивостей.

11. Доведено, що безпечна область використання фільтрувальних ЗІЗОД на вугільних шахтах не повинна перевищувати 10 ГДК. Її збільшення можливе за рахунок зменшення опору диханню фільтрів при збереженні високих захисних властивостей, удосконалення смуги обтюрації півмасок, конструкції клапанів видихання, впровадження програми респіраторного захисту, що передбачає підготовку працівників та їх тренування, перевірку надійності смуги обтюрації у виробничих умовах, якісне обслуговування ЗІЗОД на виробництві. Збільшення фактичного часу використання респіратора з 80 до 95 % дозволяє підвищити ефективний коефіцієнт захисту до 70 %.

11. Розроблено методику вибору фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання, яка впроваджена на ПАО «ДТЕК Павлоградвугілля», та удосконалено методики з визначення опору диханню, захисних властивостей за тест-аерозолями та стійкості до запилення респіраторів, які впроваджені у випробувальній лабораторії технічної експертизи засобів колективного і індивідуального захисту органів дихання працюючих ТОВ ПМТП «Спецнаб».

12. Запропоновано технічні рішення з удосконалення конструкцій багатошарових фільтрів з низьким опором диханню і високою пиломісткістю. Розроблено рекомендації щодо оснащення півмасок додатковими ущільнювачами за смугою обтюрації, встановлення додаткових елементів для кріплення наголів'я півмасок з метою забезпечення рівномірного зусилля за смугою обтюрації, урахування антропометричних відмінностей обличчя, збільшення площі фільтрів, що підвищить їх захисні властивості респіратора, що впроваджено на виробництві ТОВ НВП «Стандарт».

Основні результати дисертації опубліковані у 52 наукових роботах, основні з яких:

Монографії

1. Чеберячко С.І. Застосування респіраторів на вугільних і гірничорудних підприємствах: монографія / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2008. – 99 с.

2. Засоби індивідуального захисту органів дихання: монографія / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, Ю.І. Чеберячко. – Д.: ЧП Федоренко, 2009. – 93 с.

3. Підвищення ефективності протипилових засобів індивідуального захисту органів дихання працюючих: монографія / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, Ю.І. Чеберячко. – Д.: Наука і освіта, 2010. – 104 с.

4. Пилове навантаження працівників гірничих підприємств при використанні притипилових респіраторів: монографія / В.І. Голінько, В.Є. Колесник, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2011. – 149 с.

5. Підвищення захисної ефективності одноразових протипилових півмасок: монографія / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, Ю.І. Чеберячко. – Д.: Адверта, 2012. – 95 с.

6. Чеберячко С.І. Контроль вмісту пилу в атмосфері гірничих підприємств на основі оптичного лічильно-інтегрального методу: монографія / В.Є. Колесник, А.А. Юрченко, С.І. Чеберячко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 138 с.

7. Improving efficiency of dust mask use in mining: monograph / V.I. Golinko, S.I. Cheberyachko, Y.I. Cheberyachko, O.O. Yavorska, V.V. Tykhonenko; Ministry of Education and Science of Ukraine; National mining university. – D.: NMU, 2014. – 100 p.

Статті у міжнародних та вітчизняних виданнях, що входять до міжнародних науко-метричних баз

8. Golinko V.I. Protective Efficiency Of Filtering Respirators / V.I. Golinko, S.I. Cheberiyachko, V.E.Kolesnik //Scientific Reports On Resource Issues. – 2010. – Vol. 1. – P. 473–475.

9. Cheberyachko S.I. Study of mechanical half-mask pressure along obturation bar/ S.I. Cheberyachko, O.O. Yavors'ka, T.I. Morozova // Mining of mineral deposits./V. Bondarenko, I. Kovalevs'ka, &Ganushevych – London: Taylor & Francis Group, (Annual scientific-technical collection), 2013. – P. 317–323.

10. Чеберячко С.И. К вопросу о повышении защитной эффективности противопылевых респираторов на производстве / С.И. Чеберячко, Е.А. Яворская, Ю.И. Чеберячко// Наука и мир. – 2013. – № 4(4). – С. 97–100.

11. Cheberyachko S. Improvement of operation properties of two-layer filtering elements of dust respirators for mining operations / S. Cheberyachko, O. Yavors'ka, V. Tykhonenko// Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane and Ores Mining /V. Bondarenko, I. Kovalevs'ka, &Ganushevych – London: Taylor & Francis Group, (Annual scientific-technical collection), 2014. – P. 218–285.

12. Підвищення якості оцінки захисної ефективності протипилових засобів індивідуального захисту органів дихання / С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, С.А. Денисова, Л.І. Гордєєва, М.М. Наумов // Метрологія та прилади. – 2013. –

№ 5. – С. 61–66. (входить до міжнародної наукометричної бази «IndexCopernicus»).

13. Чеберячко С.І. Дослідження опору диханню фільтрувального респіратора на циклічному потоці повітря / С.І. Чеберячко // Науковий вісник НГУ. – 2013. – № 6. – С. 364–370. (входить до міжнародної наукометричної бази «Scopus»).

14. Особливості вибору протипилових респіраторів за європейськими стандартами / С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, М.М. Наумов, Д.І. Радчук // Металургійна та гірничорудна пром-сть. – 2013. – № 1. – С. 108–112. (входить до міжнародної наукометричної бази «Scopus»).

15. Чеберячко С.І. Дослідження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів при циклічному потоку повітря / С.І. Чеберячко // Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2013. – № 2(12). – С. 205–212. (входить до міжнародної наукометричної бази «IndexCopernicus»).

16. Чеберячко С.І. Дослідження опору повітря протипилових респіраторів при їх експлуатації на гірничорудних підприємствах / В.Є. Колесник, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко // Металургійна та гірничорудна пром-сть. – 2014. – № 4. – С. 118–123. (входить до міжнародної наукометричної бази «Scopus»).

17. Чеберячко С.І. До питання підвищення якості випробування протипилових респіраторів / С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук // Метрологія та прилади. – 2014. – № 1. – С. 66–71. (входить до міжнародної наукометричної бази «IndexCopernicus»).

18. Чеберячко С.І. Шляхи підвищення захисної ефективності працівників гірничих підприємств / С.І. Чеберячко, М.М. Наумов, О.В. Столбченко // Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2014. – № 1(13). – С. 162–175. (входить до міжнародної наукометричної бази «IndexCopernicus»).

19. Порівняльні дослідження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів в лабораторних і виробничих умовах / В.І. Голинько, С.І. Чеберячко, М.М. Наумов, Ю.І. Чеберячко // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 1. – С. 139–144. (входить до міжнародної наукометричної бази «Scopus»).

Статті у фахових виданнях

20. Чеберячко С.І. К
увеличениюпылеемкостиполипропиленовыхфильтров к респиратору РПА / С.И. Чеберячко, Ю.И. Чеберячко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 7. – С. 60–62.

21. Колесник В.Е.
Расчетпараметровдвухслойныхполипропиленовыхфильтров для условийугольных шахт / В.Е. Колесник, С.И. Чеберячко // Зб. наук. пр. НГУ. – 2004. – № 19, т. 1. – С. 253–261.

22. Анализ и оценка защитной эффективности фильтрующих респираторов / В.И. Голинько, С.И. Чеберячко, В.Е. Колесник, А.С. Ищенко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 12. – С. 33–36.

23. Метод решения математической модели вихрового движения двухфазных пылегазовых потоков / В.И. Кузьменко, И.М. Чеберячко, В.Г. Шворак, С.И. Чеберячко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 4. – С. 83–85.
24. Голинько В.И. К проблеме перехода на европейские стандарты в области индивидуальных средств защиты органов дыхания / В.И. Голинько, С.И. Чеберячко, О.А. Оседко // Металургійна та гірничорудна пром-сть. – 2006. – № 1. – С. 122–125.
25. Исследование механического давления респиратора РПА (Пульс) на мягкие ткани лица человека / В.И. Голинько, С.И. Чеберячко, В.В. Плахотник, Е.Н. Воробьева // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 12. – С. 59 – 62.
26. Чеберячко С.И. Исследование защитных свойств полипропиленовых фильтрующих материалов / С.И. Чеберячко, В.Е. Колесник, Д.И. Радчук // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 12. – С. 69–72.
27. Чеберячко С.И. Исследование влияния толщины фильтрующего слоя, диаметра волокон и плотности упаковки на основные показатели фильтрующих элементов / С.И. Чеберячко, Д.И. Радчук, Ю.И. Чеберячко // Зб. наук. пр. НГУ. – 2007. – № 29. – С. 224–229.
28. Чеберячко С.И. Оцінка впливу смуги обтюраторної на ефективність протипилкових півмасок / С.И. Чеберячко, Д.И. Радчук // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 1. – С. 25–30.
29. Чеберячко С.И. Обґрунтування методу розрахунку основних показників фільтрувальних матеріалів в залежності від умов виробничого середовища / С.И. Чеберячко, А.В. Лановий, Д.И. Радчук // Зб. наук. пр. НГУ. – 2010. – № 34, т. 2. – С. 258–265.
30. Чеберячко С.И. Дослідження електретного ефекту на волокнах поліпропіленових фільтруючих матеріалів / С.И. Чеберячко, Д.И. Радчук // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 11–12. – С. 103–106.
31. Голинько В.И. Влияние конструкции полумаски одноразовых респираторов на их основные показатели / В.И. Голинько, С.И. Чеберячко // Металургійна та гірничорудна пром-сть. – 2010. – № 3. – С. 132–135.
32. Чеберячко С.И. К вопросу выбора средств индивидуальной защиты органов дыхания для условий горнорудных предприятий / С.И. Чеберячко, Ю.И. Чеберячко // Металургійна та гірничорудна пром-сть. – 2010. – № 2. – С. 247–252.
33. Дослідження захисної ефективності вітчизняних одноразових протипилкових респіраторів за європейськими стандартами / В.И. Голинько, М.М. Наумов, С.И. Чеберячко, Д.И. Радчук // Металургійна та гірничорудна пром-сть. – 2011. – № 5. – С. 118–121.
34. Чеберячко С.И. Аналіз конструкцій клапанів видиху протипилкових респіраторів / С.И. Чеберячко, Д.И. Радчук // Науковий вісник НГУ. – 2011. – № 4. – С. 94–98.
35. Чеберячко С.И. Ергономічна оцінка респіраторів / С.И. Чеберячко, Д.И. Радчук // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. пр. / Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2012. – № 107. – С. 51–58.

36. Оцінка надійності протипилових респіраторів / С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, Ю.І. Чеберячко, М.М. Наумов // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. пр. / Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2013. – № 112. – С. 72–83.

37. Чеберячко С.І. Теоретичні дослідження перепаду тиску на фільтрувальних респіраторах / С.І. Чеберячко / Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. пр. / Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2013. – № 111. – С. 147–153.

38. Чеберячко С.И. К вопросу распределения плотности упаковки фильтра против пылевого респиратора для обеспечения максимальной пылеемкости / С.И. Чеберячко, Е.А. Яворская // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. пр. Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2014. – № 118. – С. 161–172.

39. Чеберячко С.І. Дослідження впливу конструкції одноразових півмасок на їх ергономічні властивості / С.І. Чеберячко, О.О. Яворська, Ю.І. Чеберячко // Розробка родовищ 2014: щорічн. наук.-техн. зб. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – С. 437–445.

Патенти

40. Пат. 93674 Україна, МПК А62В 23/00. Фільтрувальний респіратор / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, М.М. Наумов, Д.І. Радчук; заявник ДВНЗ «НГУ». – № u201405005; заяв. 12.05.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19 – 4 с.

Тези доповідей

41. Golinko V.I. Effect of design of half – mask respirator on their key qualities. / V.I. Golinko, S.I. Cheberiyachko & Y.I. Cheberiyachko // School Underground Mining. New techniques and technologies in mining: abstracts material of III International scientific-practical conference. – London: Taylor & Francis Group, 2010. – P. 151–155.

42. Голінько В.І. Розробка автоматизованого комплексу з визначення захисної ефективності протипилових респіраторів / В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, М.М. Наумов // Стратегія якості в промисловості і освіті: тез. док. VII міжнарод. конф., 2 – 7 юлія 2011 г., г. Варна, Болгарія. – Д.: М-во освіти і науки України; Нац. металург. акад. України, 2011. – Т. 2. – С. 606–608.

43. Чеберячко С.І. Розробка математичної моделі рівномірного розподілу зусиль за смугою обтюраторів у півмасках / С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, Ю.І. Чеберячко // Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 5 – 6 червня, 2013 р., м. Київ. – К.: ННДІОП, 2013. – С. 25–31.

44. Чеберячко С.І. До оцінки захисної ефективності протипилових півмасок / С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, Ю.І. Чеберячко // Безпека життєдіяльності у ХХІ столітті: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 17–18 жовт. 2013 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: М-во освіти і науки України; Придніпровська держ. акад. будів. і архітектур., 2013. – С. 63–66.

45. Чеберячко С.І. Дослідження факторів, які погіршують ефективність індивідуального протипилового захисту працівників / С.І. Чеберячко // Форум

гірників-2013: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 2 – 5 жовт., 2013 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т., 2013. – Т. 4. – С. 116–121.

46. Cheberyachko S.I. Use of dust masks at coal enterprises / S.I. Cheberyachko, Y.I. Cheberyachko, M.M. Naumov // School Underground Mining. Technical and geoinformational systems in mining: abstracts materials of IV International scientific-practical conference. – London: Taylor & Francis Group, 2011. – P. 231–235.

47. Cheberyachko S.I. Analysis of test methods of determining and dust respirator quality / S.I. Cheberyachko, O.O. Yavors'ka, T.I. Morozova // SchoolUndergroundMining. Geomechanical processes during underground mining abstracts materialsof V International scientific-practical conference. – London: Taylor & Francis Group, 2012. – P. 123–127.

48. Чеберячко С.І. Аналіз факторів, які впливають на захисну ефективність ЗІЗОД / С.І. Чеберячко, Г.П. Кривцун, М.М. Наумов // Форум гірників-2012: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф., 2 – 5 жовтня, 2012 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т., 2012. – Т. 4. – С. 86–94.

49. Чеберячко С.І. Якісний протипиловий респіратор – залог здоров'я працівників / С.І. Чеберячко, О.В. Столбченко, Ю.І. Чеберячко // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки: тези доп. Всеукраїн. наук.-практ. конф., 6 грудня, 2013 р., м. Харків. – Х.: М-во освіти і науки України Нац. ун-т. цивіл. захист. України, 2013. – С. 236–238.

Особистий внесок автора в праці, опубліковані у співавторстві, полягає у вирішенні науково-прикладної проблеми щодо підвищення ефективності захисту органів дихання працівників вугільних підприємств при використанні фільтрувальних засобів індивідуального захисту. У роботах [1, 4, 5] – другий розділ; [2, 3, 7] – другий і третій розділ; [6] – розроблено процедуру визначення пилового навантаження гірників за допомогою фільтрувальних респіраторів; [8, 15, 19 22, 26, 30, 34, 41, 45] – обґрунтовано результати досліджень захисних і ергономічних властивостей фільтрувальних півмасок у лабораторних і виробничих умовах, наведено узагальнення факторів, які погіршують роботу респіраторів на вугільних підприємствах; [9, 25, 28, 40, 43, 48] – встановлено причини підсмоктування нефільтрованого повітря за смугою обтюрації, побудовано математичну модель розподілу зусиль за смугою обтюрації, вказано способи покращення кріплення півмаски на обличчі; [10, 16, 18, 20, 31, 33, 35, 36, 39, 44, 46] – подано ідеї та здійснено обґрунтування шляхів підвищення захисних властивостей фільтрувальних ЗІЗОД; [11, 21, 29] – сформульовано та обґрунтовано підходи щодо розрахунку основних параметрів гофрованих і багатошарових фільтрів; [12, 17, 42, 47] – запропоновано способи вдосконалення методів перевірки якості фільтрувальних ЗІЗОД; [14, 24, 32, 49] – розроблено новітній алгоритм вибору ЗІЗОД для умов вугільних і гірничорудних підприємств; [23] – розроблено комп'ютерну програму розрахунку системи диференціальних рівнянь руху пилогазового потоку; [27, 38] – розроблено теоретичну модель розподілу щільності волокон за товщиною фільтрувального шару, запропоновано спосіб експериментальної перевірки отриманих рішень.

АНОТАЦІЯ

Чеберячко С.І. Розвиток теорії та практичне вдосконалення методів і засобів індивідуального протипилового захисту працівників гірничих підприємств. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.26.01. – Охорона праці, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2015.

У дисертаційній роботі, яка є завершеною науково-дослідною роботою в якій розв'язана важлива для охорони праці наукова проблема з розвитку теорії фільтрування аерозолів засобами індивідуального захисту органів дихання з метою попередження професійних захворювань пилової етіології працівників гірничих підприємств.

Виконано аналіз чинників, які погіршують ефективність засобів індивідуального протипилового захисту органів дихання, з урахуванням умов праці гірників за пиловим фактором на вугільних підприємствах.

Вирішено задачу зміни перепаду тиску на фільтрувальних респіраторах у процесі дихання з використанням фільтраційних моделей взаємопов'язаних каналів і паралельних циліндрів та узагальнено результати, отримані на математичних моделях.

Встановлено теоретичні залежності перепаду тиску на респіраторах при різних фазах фільтрування аерозолію та опору дихання від інтенсивності накопичення пилового осаду як при постійній, так і при змінній швидкості фільтрування з урахуванням основних параметрів фільтрувального шару та усереднених умов їх використання.

Розроблено високоефективні фільтрувальні засоби протипилового індивідуального захисту органів дихання на основі отриманих залежностей опору диханню від інтенсивності накопичення пилового осаду при змінній швидкості фільтрування.

Розроблено методику вибору фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання та удосконалено методики з визначення опору диханню, захисних властивостей за тест-аерозолями та стійкості до запилення респіраторів, які впроваджені у випробувальній лабораторії технічної експертизи засобів колективного та індивідуального захисту органів дихання працюючих.

Ключові слова: засоби індивідуального захисту органів дихання, фільтрувальна півмаска, опір дихання, перепад тиску, коефіцієнт захисту, коефіцієнт проникнення, коефіцієнт підсмоктування, пиломісткість.

АННОТАЦИЯ

Чеберячко С.И. Развитие теории та практическое совершенствование методов и средств индивидуальной противопылевой защиты работников горных предприятий. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.01. – Охрана труда, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2015.

В диссертационной работе решена актуальная научная проблема по развитию теории процесса фильтрации аэрозольных частиц средствами индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) с целью уменьшения профессиональных заболеваний пылевой этиологии работников горных предприятий.

Разработана теория прохождения переменного ламинарного потока сквозь пористый фильтрующий материал на основании уравнений Ейлера. Определена зависимость перепада давления на СИЗОД при циклическом движении воздуха с учетом объема и частоты дыхания человека параметров фильтра – проницаемости и пористости фильтрующего слоя.

Установлено, что перепад давления на одноразовых фильтрующих полумасках во время дыхания зависит от результирующей силы трения при прохождении воздушного потока сквозь фильтрующий шар, которая влияет на распределение давления по высоте фильтра респиратора. С увеличением расхода воздуха на отдельных участках фильтра возникает неравномерное распределение скорости фильтрации, что увеличивает сопротивление дыханию респиратора.

Исследованы теоретические зависимости изменения перепада давления на респираторах при разных фазах фильтрации аэрозоля. Установлены условия их использования для прогноза времени защитного действия СИЗОД. Получена зависимость изменения перепада давления на фильтрах респиратора при объемной фазе фильтрации исходя из усовершенствованной модели утолщенного волокна, в которой учтено влияние физико-химических свойств пыли.

Установлено, что процесс объемного осаждения частиц пыли на фильтрах можно описать с помощью дифференциального уравнения баланса массы веществ, которое показывает изменение количества вещества, что проходит сквозь фильтр за единицу времени. Доказано, что коэффициент фильтрации возрастает при уменьшении пористости фильтра и увеличении плотности осевшей пыли, которая зависит от структуры волокон, наличия электростатического заряда и типа аэрозоля.

Разработана математическая модель для расчета основных параметров фильтра: радиуса волокон, толщины и плотности упаковки волокон с учетом влияния различных скоростей фильтрации. Определены условия существования оптимального радиуса и распределения плотности упаковки по толщине фильтрующего шара. Установлена зависимость количества слоев фильтра от концентрации пыли и расхода воздуха. Определены основные зависимости для расчета параметров фильтра: шага складки и высоты исходя из условий эксплуатации и скорости фильтрации. Изготовлены макеты образцов фильтров.

Исследовано изменение коэффициента проникания респираторов на переменном и постоянном потоках воздуха. Показано, что в первом случае он

будет выше из-за пиковых показателей при вентиляции легких. Отмечается, что с увеличением расхода воздуха эта разница уменьшается.

Определена зависимость коэффициента проникания респиратора от величины подсосов по полосе обтюрации. Предложен способ выявления эквивалентного размера щели между лицом и респиратором, который основан на сравнении перепадов давления на герметически и негерметически закрепленных полумасках. Определен расчет коэффициента защиты с учетом величины подсосов через обтюратор. Показано, что наибольшее количество вредных веществ поступает со стороны щек, наименьшее – со стороны подбородка. Однако с увеличением скорости подсоса место подсоса не влияет на величину коэффициента проникания.

Обнаружено, что в подмасочном пространстве эластомерных полумасок накапливается значительно большее количество аэрозольных частичек, чем в одноразовых полумасках. Наибольшее количество вредных веществ проникают при наклонах туловища, глубоком дыхании, разговорах. Количество подсасываемого воздуха сквозь неплотности полосы обтюрации в одноразовых полумасках при достижении 150 л/мин уменьшается.

Разработана модель распределения усилий по полосе обтюрации, которая позволяет рассчитать конструкцию полумасок с равномерным распределением усилий на элементах крепления оголовья. Для повышения изолирующих свойств респираторов предложено изготовить обтюратор в виде воздушной камеры, который сможет повторить контур лица пользователя.

Доказано, что безопасная область использования респираторов на угольных шахтах не должна превышать 10 ПДК. Увеличение фактического времени использования респиратора с 80 до 95 % приводит к повышению коэффициента защиты на 70 %.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты органов дыхания, фильтрующая полумаска, сопротивление дыханию, перепад давления, коэффициент защиты, коэффициент проникания, коэффициент подсоса, пылеемкость.

ABSTRACT

Cheberyachko S.I. Development of the theory and practical improvement of methods and means personal dust protection of workers of mine enterprises. – Manuscript copyright.

The thesis on competition of an academic degree of the Doctor of Engineering Science in the specialty 05.26.01. – Labor protection – SHEI “National Mining University”, Dnipropetrovs’k, 2015.

The thesis is devoted to the solution of an actual science problem creating methods and means of effective personal dust protection of breathing organs of mineworkers.

The analysis of factors that decrease the effectiveness of respiratory protection subject to working conditions of miners by dust factor in coal enterprises is carried out.

The task of pressure difference variation on filter respirators while breathing process with using filtration model of interconnected canals and parallel cylinders is solved. The obtained results of mathematical models are summarized. The task of change pressure differential on filtering respirators while breathing process is solved using filtration models of interdependent channels and parallel cylinders and to generalize the results received on mathematical models.

Theoretical dependences of differential pressure on respirators under different phases of filtering aerosol and resistance of breathing from accumulation intensity of dust sediment while constant and variable filtering speed taking into account main parameters of filtering surface and average conditions of their use are set.

Highly effective filtering personal protection equipment's of breathing organs based on received dependences of breathing resistance from dust accumulation intensity under variable filtering speed are developed.

Keywords: personal protective equipment, filtering half mask, breathing resistance, penetration coefficient, aerosol capture coefficient, suction coefficient, dust holding capacity.

Чеберячко Сергій Іванович

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЧНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ
І ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ПРОТИПИЛОВОГО ЗАХИСТУ
ПРАЦІВНИКІВ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

(Автореферат)

підп. до друку Формат 60x90/16
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 1,98.
Обл.-вид. арк. 1,98. Тираж 100 пр. Зам. №

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19