

УДК 614.89

Протипиловий респіратор з вимірювачем перепаду тиску

Чеберячко С. І., Чеберячко Ю. І., Дерюгін О. В., Славінський Д. В.

Національний технічний університет “Дніпровська політехніка”

E-mail: dimnikson@gmail.com

Серед професійних захворювань перше місце належить хворобам органів дихання. Це є наслідком забруднення повітря робочої зони шкідливими речовинами, або використання працівниками засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), які не дозволяють контролювати термін захисної дії і тим самим збільшують ризик виникнення професійних захворювань. Сучасні фільтри характеризуються високими захисними властивостями, однак внаслідок осідання пилових аерозолів на них збільшується опір диханню, що з часом призведе до значного підсмоктування нефільтрованого повітря через щілини між півмаскою і обличчям, які викликані недосконалістю конструкцій півмасок і різною антропометрією обличчя працівників. Метою дослідження є підвищення коефіцієнту захисту протипилового респіратора за рахунок автоматичного контролю захисної ефективності протипилового респіратора шляхом встановлення на півмаску вимірювача перепаду тиску, який дозволяє оцінити відповідність півмаски респіратора антропометричним розмірам обличчя, щільність прилягання (відсутність щілин за смугою обтюрації та поверхнею обличчя), а також встановити термін захисної дії фільтруючих елементів. Встановлено, що за допомогою датчика тиску, який встановлений у підмасковому просторі можна оцінювати щільність прилягання півмаски респіратора к поверхні обличчя працівника під час виконання їм виробничої діяльності, а також контролювати термін захисної дії фільтруючих елементів. Розроблено конструкцію вимірювача перепаду тиску протипилового респіратора, запропоновано алгоритм його роботи, який дозволяє контролювати зміну перепаду тиску дихання через зростання опору фільтрів при накопиченні пилового осаду на їх поверхні, через втрату щільності прилягання півмаски респіратора до поверхні обличчя працівника під час виконання їм виробничої діяльності.

Ключові слова: шкідливі аеродисперсні частинки; протипиловий респіратор; півмаска; щільність прилягання; фільтр; вимірювач тиску

DOI: [10.20535/RADAP.2019.78.43-51](https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.78.43-51)

Вступ

Серед професійних захворювань, зафіксованих за період 2017-2018 рр., перше місце належить хворобам органів дихання — 40,1% від загальної кількості професійних захворювань. Це є наслідком забруднення повітря робочої зони шкідливими аеродисперсними частинками (пил, дим, туман), газами та парами, відсутності або використання засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), які не відповідають вимогам щодо їх функціонального призначення та антропометричним рисам обличчя користувачів.

Сучасні фільтри забезпечують достатній ступінь захисту при уловлюванні навіть субмікронних частинок. Водночас на захисні властивості ЗІЗОД впливає утворення щілин між півмаскою і обличчям, що викликано недосконалістю конструкції обтюратора (ущільнювача), сповзанням півмаски під час роботи, нерівномірністю розподілу притискних

зусиль системи кріплення [1]. Це призводить до виникнення підсмоктування забрудненого повітря через утворені нещільності при зростанні опору дихання фільтрів по мірі накопичення пилового осаду. Вказана проблема вимагає проведення відповідних досліджень для пошуку шляхів її вирішення.

1 Теоретичний аналіз захисної ефективності протипилових респіраторів та постановка задачі дослідження

Аналіз опублікованих робіт [2–4] з ефективності використання протипилових респіраторів дозволив зробити наступний висновок, що в конструкціях розповсюджених моделей, які складаються з еластичної півмаски з вмонтованими двома вузлами клапанів вдихання та видихання, обтюратора,

фільтрувальної коробки, що споряджена двома поспідовно встановленими гофрованими фільтрами, і наголів'я в умовах важкої праці, великої вологості повітря ($> 80\%$) та концентрації пилу ($\geq 500 \text{ мг/м}^3$) є наступні експлуатаційні недоліки:

- коефіцієнт захисту під час роботи значно знижується та виникає необхідність частої заміни фільтруючих елементів;
- відбувається підсмоктування нефільтрованого повітря через смугу обтюрації півмаски в наслідок нерівномірності розподілу притискних зусиль;
- відсутній контроль терміну захисної дії фільтрів.

У більшості випадків розв'язання наведених проблем проводиться за рахунок забезпечення відповідних розмірів півмаски протипилового респіратора до антропометрії обличчя користувачів [5], моніторингом притискних зусиль системи кріплення [6].

Також деякі дослідники з метою покращення роботи ЗІЗОД запропонували оснащувати півмаски протипилових респіраторів вентилятором, який зменшував розрідження у підмасковому просторі, сприяв виведенню додаткової вологи тим самим збільшував термін захисної дії [7]. Однак, проаналізовані способи покращення роботи протипилових респіраторів, не дозволяють постійно контролювати правильність розташування півмаски на обличчі працівника під час виконання виробничих операцій і не дозволяють оцінити строк служби фільтрів.

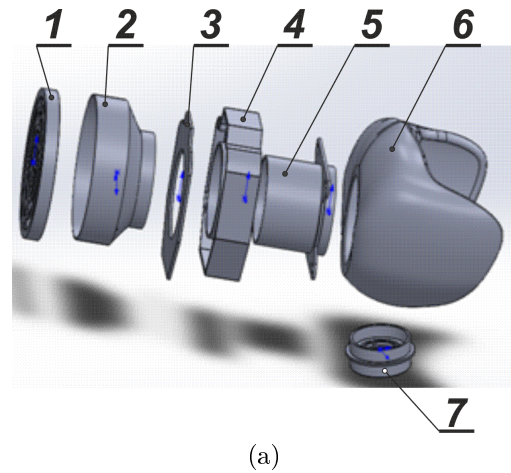
З проведеного аналізу можна зробити висновок, що вдосконалення конструкції протипилових респіраторів є актуальною проблемою.

Метою дослідження є підвищення коефіцієнту захисту протипилового респіратора за рахунок оперативного контролю опору диханню, виникнення можливих щілин між смугою обтюрації та поверхнею обличчя працівника при виконанні різних виробничих операцій та встановлення реального терміну захисної дії фільтрів.

2 Конструкція протипилового респіратора з вимірювачем перепаду тиску

Вирішення поставленої задачі вбачається у доданні до конструкції протипилового респіратора — вимірювача перепаду тиску, який реалізовано у вигляді датчика контролю тиску, блоку управління та обробки інформації, пристрою запису та зберігання інформації, блока сигналізації і джерела живлення. Конструкція протипилового респіратора з вимірювачем перепаду тиску складається з наступних елементів: 1 — кришка фільтрувальної коробки; 2 — фільтрувальна коробка; 3 — кришка блока управління; 4 — корпус блока управління; 5 — патрон з клапаном вдихання; 6 — півмаска; 7 — клапан видиху (рис. 1 а). Запропонована конструкція вимірювача

перепаду тиску збільшить вагу фільтрувальної коробки респіратора на 70 г, що в сумі з масою фільтра не перевищує допустимих меж у 300 г відповідно до вимог [8].



(a)



(б)

Рис. 1. Схема протипилового респіратора з вимірювачем перепаду тиску: а — схема конструкції; б — промисловий зразок [9]

Запропонована конструкція протипилового респіратора з вимірювачем перепаду тиску дозволить збільшити захисні властивості і зменшити підсмоктування повітря через нещільності, які утворюються між смугою обтюрації і поверхнею обличчя працівника під час виконання виробничих операцій через послаблення системи кріплення або перевищення опору пропускної спроможності фільтрів і визначення критичного стану їх експлуатації. У блоці управління та обробки інформації міститься інформація про певний діапазон величин опору дихання, невідповідність якому визначного перепаду тиску буде говорити про необхідність заміни фільтра чи про погіршення герметичності прилягання півмаски протипилового респіратора до обличчя працівника. У випадку фіксації меншого значення опору дихання протипилового респіратора ймовірно півмаска одягнена неправильно, або вона сповзла і з'явилися підсмоктування в нещільностях між смугою обтюрації та поверхнею обличчя працівника. В цьому

випадку буде автоматично спрацьована індикаторна звукова сигналізація. У разі перевищення граничного опору диханню через фільтрувальні елементи під час експлуатації протипилового респіратора також буде подано сигнал про необхідність їх заміни. У пристрої запису та зберігання інформації розташовано таймер, який фіксує час роботи людини в протипиловому респіраторі, що дозволить точно визначати пилове навантаження. На рис. 2 представлено алгоритм взаємодії основних складових елементів вимірювача перепаду тиску протипилового респіратора.

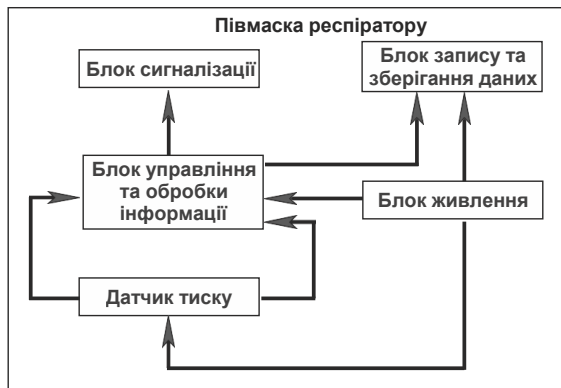


Рис. 2. Схема взаємодії основних складових елементів вимірювача перепаду тиску протипилового респіратора [7]

Структурна схема складається з датчика тиску, інформація від якого потрапляє в блок управління та обробки інформації, блоку запису та зберігання даних, блоку сигналізації з індикатором перепаду тиску на фільтруючому елементі та індикатором заряду батареї та блоку живлення.

Схема блока управління з датчиком перепаду тиску та засобами візуалізації процесу автоматичного контролю для оперативної оцінки роботи респіратора зображено на рис. 3.

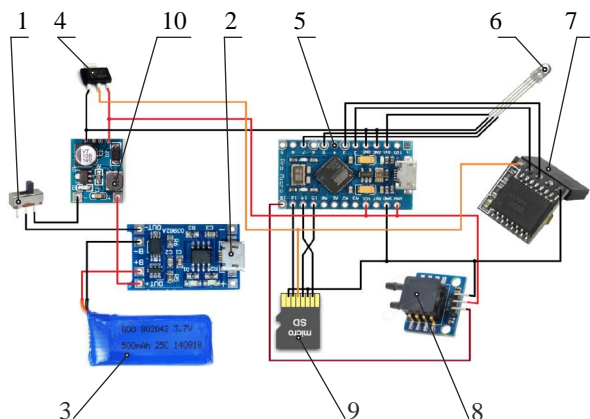


Рис. 3. Схема блока управління з датчиком перепаду тиску: 1- вмикач; 2 - блок зарядки акумулятора; 3 - акумулятор; 4 – мікросхема стабілізації напруги; 5 - плата "Arduino"; 6 - світловий індикатор; 7 - розширювач каналів; 8 - датчик перепаду тиску; 9 - карта пам'яті; 10 - реле реального часу

Блок управління вмикається за допомогою тумблера 1, напруга живлення може подаватися як від акумулятора 3 (автономний режим), так і від блоку зарядки (стаціонарний режим). Датчик тиску 8 з'єднаний з підмасковим простором протипилового респіратора і навколишнім середовищем. Його вихід з'єднано з входом блоку управління та обробки інформації, який виконано на базі мікроконтролера "Arduino" 5. Оброблена інформація порівнюється з вихідними параметрами та за допомогою розширювача каналів 7 поступає до пристрою запису і зберігання інформації 9, а також до світлових та звукових індикаторів 4, 6 (рис. 3). Індикаторна сигналізація має різну звукову частоту і залежить від величини тиску у підмасковому просторі протипилового респіратора при здійсненні вдиху/видиху працівником під час виконання виробничих операцій. Для фіксування тривалості роботи працівника у протипиловому респіраторі вимірювач перепаду тиску містить реле реального часу 10.

Протипиловий респіратор з вимірювачем перепаду тиску працює таким чином. За допомогою наголів'я і спеціальної кріпильної гарнітури респіратор з півмаскою фіксують на обличчі працівника. Включають вимірювач перепаду тиску. Після чого перевіряють його працездатність: фільтрувальну коробку закривають герметичним матеріалом і виконують вдих/видих. Якщо індикатори сигналізують про перевищення тиску, датчик працює правильно. Потім роблять вдих/видих через фільтрувальну коробку, якщо на індикаторі ввімкнеться зелений колір, то підсмоктування відсутні або незначні і півмаска одягнена правильно. Якщо на індикаторі ввімкнеться червоне світло і буде спрацьована індикаторна сигналізація необхідно терміново звернути увагу на герметичність поверхні прилягання півмаски протипилового респіратора до обличчя працівника і терміново вжити заходи, які спрямовані на усунення цього явища. При забрудненні фільтрувальних елементів протипилового респіратора, вимірювач перепаду тиску сигналізує про необхідність заміни фільтра. У випадку сповзання півмаски, під час виконання працівником виробничої діяльності, також можуть утворитися додаткові щілини, які зменшать тиск у підмасковому просторі протипилового респіратора, про що буде повідомлено відповідними звуковими і світловими сигналами. Робітник буде змушений поправити півмаску щоб відключити звуковий сигнал.

3 Розробка алгоритму роботи вимірювача перепаду тиску протипилового респіратора

Алгоритм роботи блока управління наведено на рис. 4. Він дозволяє визначати вихідні дані: кількість циклів вдихання і видихання та встановити

мінімальний початковий опір диханню через фільтри для кожного працівника, при якому буде фіксуватись ефективна робота півмаски. У результаті зменшення цієї величини буде подано сигнал, що свідчить про сповзання півмаски та утворення щілин між смугою обтюраторії та поверхнею обличчя працівника під час виконання виробничої діяльності.

Контроль перепаду тиску у протипиловому респіраторі визначається в залежності від тяжкості праці для чого проводився аналіз інтенсивності періодів дихання під час виконання виробничої діяльності безпосередньо працівником. Для опису отриманої інформації слід проводити аналіз двох взаємопов'язаних масивів даних – отримане значення перепаду тиску та час експлуатації респіратора, тобто поєднання цих масивів за допомогою операції дискретизації, тобто перетворення аналогових (неперервних) сигналів, безперервних по аргументу, у функції миттєвих значень сигналів по дискретному аргументу. Миттєві значення записуються до карти пам'яті для подальшого аналізу, з метою внесення коригувань у роботу пристрою контролю. Операція дискретизації виконується для обох неперервних значень – перепад тиску та час експлуатації. Наприклад для 30 хв. експлуатації відповідний перепад тиску складав 100 Па. Для 80 хв – відповідно 110 Па. Дана методика описана в [9].

4 Експериментальні дослідження працездатності протипилового респіратора з вимірювачем перепаду тиску

Для перевірки функціональної працездатності протипилового респіратора з вимірювачем перепаду тиску були проведені лабораторні дослідження. Роботу вимірювача перепаду тиску на протипиловому респіраторі перевіряли при запиленні фільтрувальних елементів на спеціальному випробувальному стенді (рис. 5), який відповідає вимогам [10].

Площа перетину випробувальної камери складає – 0,42 м². Концентрацію доломітового пилу забезпечували на рівні 500±50 мг/м³. Час запилення визначався досягненням фільтрувальними коробками кінцевого перепаду тиску 100 Па.

Доломітовий пил за допомогою ежектора 3 і компресора 1 з витратою повітря 60 м³/год. подавався з генератора пилу 10 через дифузор 4 і розподільувач пилу 11 у випробувальну камеру 13. Дифузор і розподільувач у конструкції стенду забезпечують рівномірне розподілення пилу та повітряного потоку за висотою камери. Витрата повітря в камері контролюється витратоміром 6. Для відведення пилу з камери і захисту навколишнього середовища встановлено витяжний вентилятор 7 з циклоном 5.

Протипиловий респіратор з фільтрами (табл. 1) встановлювався у випробувальній камері на манекен голови, до якого приєднано мікроманометр для контролю опору повітряному потоку. Через фільтр за допомогою протипилового респіратора фільтрується об'єм повітря з витратою 30 дм³/хв. Концентрацію пилу вимірювали за допомогою пробовідбірника з аналітичним фільтром «АФА», який розміщується у середині камери біля випробовуваного зразка. Відбір проби проводили з витратою повітря 2 дм³/хв. При досягненні критичного значення вимірювач перепаду тиску повинен подати відповідний сигнал і зафіксувати час запилення.

Табл. 1 Характеристика фільтрів протипилового респіратора для випробувань

Номер фільтра	Витрата повітря через фільтр, л/хв.	Щільність упаковки волокон, г/см ²	Перепад тиску на фільтрі, Па
1	30	25-30	6
2		30-35	14
3		40-45	18
4		45-50	23
5		50-55	29

Концентрацію пилу у камері визначали за формулою:

$$C = \frac{1000 \cdot (m_2 - m_1)}{Q \cdot t}, \quad (1)$$

де m_1 – маса фільтра «АФА», мг; m_2 – маса фільтра «АФА» з пилом після відбору проби, мг; Q – витрата повітря, дм³/хв.; t – час відбору проби повітря, хв.

Перепад тиску на фільтрувальних коробках контролювали за допомогою компенсаційного мікроманометру "МКВ 250" (виробник НВФ "Стандарт-М", Україна) та розраховували за формулою:

$$R = 9,81 \cdot (R_i - R_0) \cdot K_1, \quad (2)$$

де R_i – виміряне значення, мм вод. ст.; R_0 – власний опір манометру, мм вод. ст.; K_1 – поправочний коефіцієнт на температуру і атмосферний тиск.

На підставі отриманих результатів визначали невизначеність вимірювань при $P < 0.05$ відповідно до вимог і рекомендацій з визначення невизначеності при проведенні вимірювань [11]. Результати дослідження наведені в табл. 2.

У результаті проведеної лабораторної перевірки було встановлено час опрацювання вимірювача перепаду тиску при досягненні критичної величини перепаду тиску під час запилення фільтрів протипилового респіратора. Встановлено, що розбіжність отриманих результатів не перевищувала 10%, що є допустимим у інженерних розрахунках.

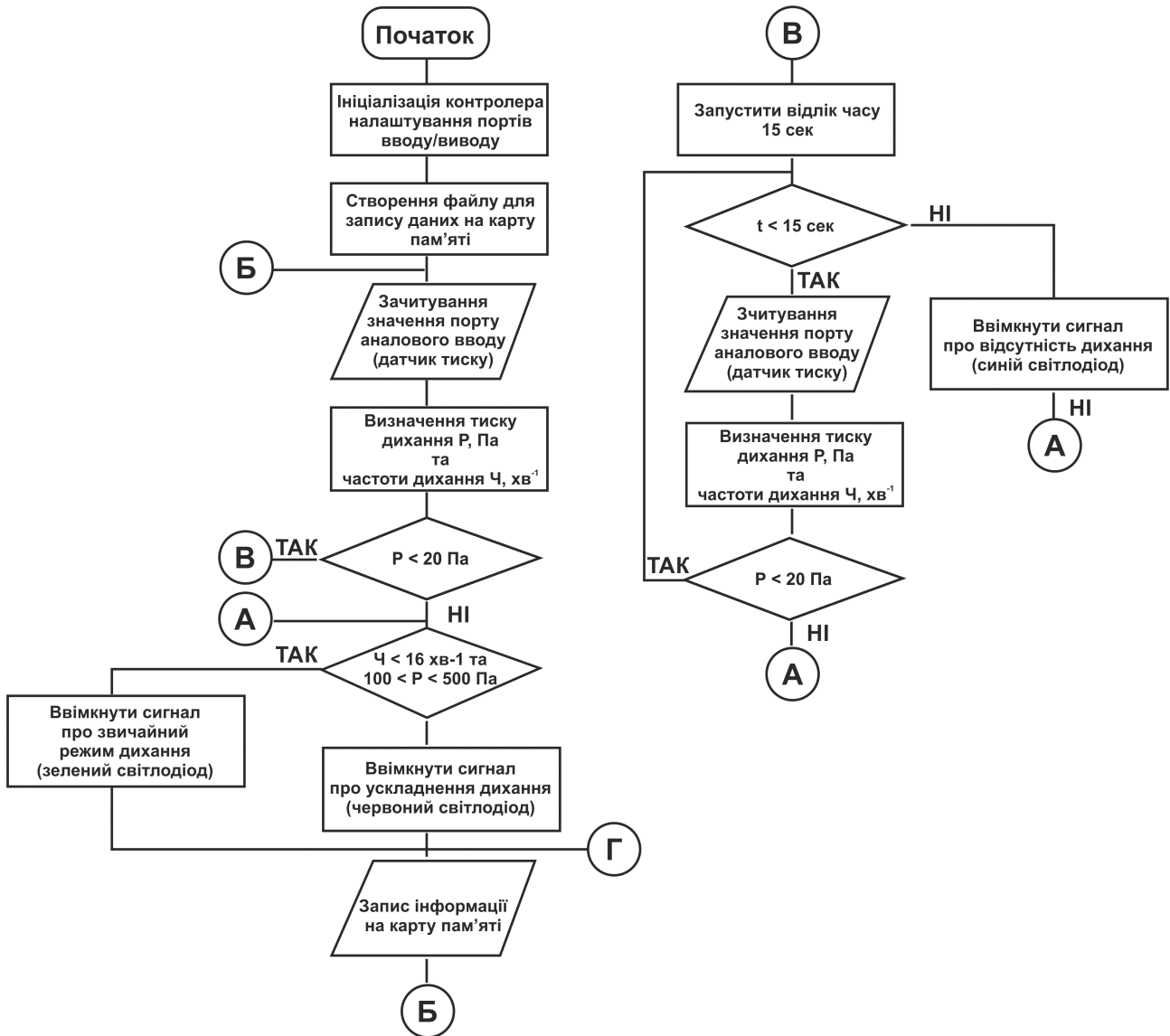


Рис. 4. Алгоритм роботи вимірювача перепаду тиску протипиллового респіратора

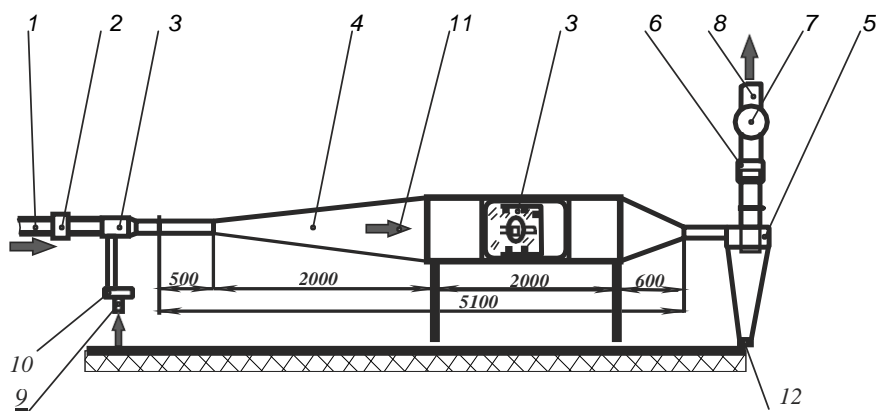


Рис. 5. Загальний вигляд випробувального стенду: 1, 9 – подача стисненого повітря; 2 – попередній фільтр очищення стисненого повітря; 3 – ежектор; 4 – дифузор; 5 – циклон; 6 – витратомір; 7 – витяжний вентилятор; 8 – вихідний патрубок; 10 – генератор пилу; 11 – розподільувач пилу; 12 – заслінка; 13 – випробувальна камера

Табл. 2 Результати дослідження часу запылення протипилових респіраторів при концентрації пилу 500 мг/м³

Номер фільтра	Показники протипилового респіратору з вимірювачем тиску		Показники протипилового респіратору без вимірювача тиску	
	Кінцевий перепад тиску на фільтрі, Па	Час запылення до спрацювання індикатору, хв.	Кінцевий перепад тиску на фільтрі, Па	Час запылення, хв.
1	99,5	132	100	141
2	99,8	106	100	112
3	100,1	78	100	83
4	100,3	61	100	66
5	100,1	42	100	47

5 Обговорення отриманих результатів

Основною відмінністю запропонованого протипилового респіатора від звичайних, які присутні в експлуатації, є постійний контроль перепаду тиску у підмасковому просторі, що дозволяє визначити реальний термін захисної дії фільтрів, а також забезпечити правильне розташування півмаски на обличчі працівника, що контролюється як раз підтримкою мінімальної величини розрідження в підмасковому просторі. За цими показниками і визначають ступінь захисту працівника при виконанні виробничих операцій у ЗІЗОД. Отже, запровадження вимірювача перепаду тиску у ЗІЗОД дозволить підвищити захищеність працівників від пилу під час виконання виробничих операцій.

Відмітимо, що однією з причин відмови працівників від користування протипиловим респіратором під час виконання професійних операцій є утруднення дихання. Запропонований прилад дозволить контролювати опір дихання фільтрів і своєчасно сигналізувати про їх забруднення. Прийнятність даного підходу була досліджена та підтверджена не тільки за допомогою лабораторних перевірок, що наведені вище, а й проведенням тесту на придатність до користувача вимогам "Quant fit test" [12, 13]. За його допомогою визначають чи в змозі півмаска протипилового респіатора забезпечити заданий ступінь ізолювання органів дихання працівника під час виконання виробничих операцій. Сутність полягає у контролі датчиком тиску величини розрідження в підмасковому просторі протипилового респіатора, що створюється за допомогою аспіратору, який при затримці дихання працівником (випробувачем) на 7-10 секунд дихання, відсмоктує деякий об'єм повітря [13]. При перевірці визначається відхилення від встановленого датчиком тиску розрідження, зміна якого викликається наявністю підсмоктувань через щілини між смугою обтюрації і поверхнею обличчя працівника. Перевірка показала задовільний результат.

Висновки

1. Запропоновано спосіб автоматичного контролю захисної ефективності протипилового респіатора шляхом встановлення на півмаску вимірювача перепаду тиску, який дозволяє оцінити відповідність півмаски антропометричним розмірам обличчя працівника, щільність прилягання під час його експлуатації (відсутність щілин між обличчям і півмаскою під час сповзання, поворотів голови, нахилів тулуба), а також термін захисної дії фільтрів до набуття ними критичного значення перепаду тиску, що говорить про необхідність їх заміни.

2. Запропоновано алгоритм роботи вимірювача перепаду тиску протипилового респіатора, який дозволяє контролювати зміну перепаду тиску через зростання опору фільтрів при накопиченні пилового осаду, через сповзання півмаски і погіршення притискних зусиль наголів'я.

3. Запропонована конструкція протипилового респіатора з датчиком тиску дозволяє більш ефективно захищати працівника під час виконання виробничої діяльності в умовах запылення робочого простору.

4. Запропонована методика може використовуватися на підприємствах, які займаються випуском протипилових респіраторів для виробничих підприємств.

Перелік посилань

1. Zhipeng L. Head form and N95 Filtering Facepiece Respirator Interaction: Contact Pressure Simulation and Validation / L. Zhipeng, J.Y. Jingzhou, Z. Ziqing // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. - 2012. - No 9. - pp. 46-58.
2. Gutierrez A. Designing an improved respirator for automotive painters / Alma Maria Jennifer A. Gutierrez, Melissa D. Galang, Rosemary R. Seva, Michelle C. Lu, Diana Rose S. Ty // International Journal of Industrial Ergonomics - 2014 - No 44. - pp. 131-139.
3. Plebani C. Filtering facepieces: effect of oily aerosol load on penetration through the filtering material / C. Plebani, S. Listrani and M.Di. Luigi // Med. Lav. - 2010. - No 101(4). - pp. 293-302.

4. Janssen L.L. Efficiency of degraded electret filters: Part I: laboratory testing against NaCl and DOP before and after exposure to workplace aerosols / L.L. Janssen, J.O. Bidwell, H.E. Mullins, T.J. Nelson // *J. Int. Soc. Resp. Prot.* - 2003. - Vol 20. - pp. 71-80.
5. Groce D. Three-dimensional facial parameters and principal component scores: Association with respirator fit / D Groce., S. Guffey, D.J. Viscusi // *Journal of the International Society for Respiratory Protection.* - 2010. - № 27(1). - P. 1-15.
6. Zhou S. An Intelligent FFR with a Self-Adjustable Ventilation Fan / S. Zhou, H. Li, Sh. Shen, S. Li, W. Wang, X. Zhang, J. Yang // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* - 2017. - V.21. - P. 23-33.
7. Пат. № 122788 Україна, МПК А62В 23/02. Фільтрувальний респіратор” / В.І. Голінько, Ю.І. Чеберячко, В.Ю. Фрундін, С.І. Чеберячко, Д.І. Радчук, Д.В. Славинський; заявник ДВНЗ “НГУ”. – №1 2017 07973; заяв. 31.07.2017 ; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
8. ДСТУ EN 143:2002/Зміна № 1:2015 (EN 143:2000/A1:2006, IDT) Засоби індивідуального захисту органів дихання. Протиаерозольні фільтри. Вимоги, випробування, маркування. Держстандарт України, 2016 р. - 24 с.
9. Заболотній С.В. Цифрове оброблення сигналів: посібник для студентів [Електронний ресурс] / Авт.-укл. С.В. Заболотній; за ред. проф. Ю.Г. Леги; Черкас. держ. технол. ун-т. - Черкаси: ЧДТУ, 2010. - 119 с.
10. Чеберячко С.І. Дослідження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів при циклічному потоковому повітрі // *Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва.* - 2013. - №2 (12). - С.205-212.
11. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. - JCGM, 2008. - 120 p.
12. Zhuang Z. Correlation Between Quantitative Fit Factors and Workplace Protection Factors Measured in Actual Workplace Environments at a Steel Foundry / Z. Zhuang, C.C. Coffey, P.A. Jensen; D.L. Campbell; R.B. Lawrence; W.R. Myers // *American Industrial Hygiene Association Journal.* - 2004. - Vol. 64, - № 6. - P. 730-739.
13. ДСТУ EN 529:2006 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Рекомендації щодо вибору, використання, догляду і обслуговування. Настанова (EN529:2005, IDT): ДСТУ EN 529:2006. Держспоживстандарт України, 2008 р. - 40 с.
14. Janssen L., Bidwell J., Mullins H. and Nelson T. (2003) 221. Field Efficiency Study of Degraded Electret Filters, Part 1: Methods and Laboratory Testing Results. *AIHce 2003*. DOI: 10.3320/1.2757899
15. Groce D., Guffey S. and Viscusi D.J. (2010) Three-dimensional facial parameters and principal component scores: Association with respirator fit. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, Vol. 27, No. 1, pp. 1-15.
16. Zhou S., Li H., Shen S., Li S., Wang W., Zhang X. and Yang J. (2017) An intelligent FFR with a self-adjustable ventilation fan. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 14, Iss. 11, pp. D173-D178. DOI: 10.1080/15459624.2017.1366036
17. Holinko V.I., Cheberiachko Yu.I., Frundin V.Yu., Cheberiachko S.I., Radchuk D.I. and Slavinskyi D.V. (2018) *Filtruvalnyi respirator* [Filter respirator]. Patent UA201707973.
18. Derzhstandart Ukrainy (2016) *Zasoby indyvidualnoho zakhystu orhaniv dykhannia. Protiaerazolni filtry. Vymohy, vyprobuvannia, markuvannia* [Respiratory protection. Anti-aerosol filters. Requirements, tests, marking] DSTU EN 143:2000/A1:2006, IDT, 24 p.
19. Zabolotnii S.V. and Lehy Yu.H. eds (2010) *Tsyfrove obrobлення syhnaliv* [Digital signal processing], Cherkasy, ChDTU, 119 p.
20. Cheberiachko S. I. (2013) The study of the filtering respirator breathing resistance under cyclic current of air. *Scientific Bulletin of National Mining University*, Vol. 2, No. 12, pp. 205-212. (in Ukrainian)
21. JCGM 100:2008 (2008) *Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. JCGM, p. 120.
22. Zhuang Z., Coffey C.C., Jensen P.A., Campbell D.L., Lawrence R.B. and Myers W.R. (2003) Correlation Between Quantitative Fit Factors and Workplace Protection Factors Measured in Actual Workplace Environments at a Steel Foundry. *AIHA Journal*, Vol. 64, Iss. 6, pp. 730. DOI: 10.1202/475.1
23. Derzhstandart Ukrainy (2005) *Zasoby indyvidualnoho zakhystu orhaniv dykhannia. Rekomendatsii shchodo vyboru, vykorystannia, dohliadu i obsluhovuvannia* [Respiratory protection. Recommendations for selection, use, care and maintenance]. DSTU EN 529:2006 IDT.

References

- [1] Lei Z., Yang J.(and Zhuang Z. (2012) Headform and N95 Filtering Facepiece Respirator Interaction: Contact Pressure Simulation and Validation. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 9, Iss. 1, pp. 46-58. DOI: 10.1080/15459624.2011.635130
- [2] Gutierrez A.M.J.A., Galang M.D., Rosemary R.S., Lu M.C. and Tu D.R.S. (2014) Designing an improved respirator for automotive painters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 44, Iss. 1, pp. 131-139. DOI: 10.1016/j.ergon.2013.11.004
- [3] Plebani C., Listrani S. and Di M. (2010) Luigi Filtering facepieces: effect of oily aerosol load on penetration through the filtering material. *La Medicina del lavoro*, Vol. 101, No. 4, pp. 293-302.

Противопыльный респиратор с измерителем перепада давления

Чеберячко С. И., Чеберячко Ю. И., Дерюгин О. В., Славинский Д. В.

Вступление. Среди профессиональных заболеваний первое место принадлежит болезням органов дыхания. Это является следствием загрязнения воздуха рабочей зоны вредными аэродисперсными частицами, газами, парами, или использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) работников, которые не позволяют контролировать срок защитного действия. Вследствие чего увеличивается риск возникновения профессиональных заболеваний.

Теоретический анализ защитной эффективности противопылевых респираторов и постановка

задачи исследования. Использование противопылевых респираторов сопровождается следующими эксплуатационными недостатками: коэффициент защиты во время работы значительно снижается и возникает необходимость частой замены фильтрующих элементов; происходит подсос нефильрованного воздуха через полосу obturации полумаски в следствии неравномерности распределения прижимных усилий системы крепления; отсутствует контроль срока защитного действия фильтров.

Конструкция противопылевого респиратора с измерителем перепада давления. Решение поставленной задачи выполнено в добавлении к конструкции противопылевого респиратора - измерителя перепада давления, который реализован в виде датчика контроля давления, блока управления и обработки информации, устройства записи и хранения информации, блока сигнализации и источника питания. Предложенная конструкция противопылевого респиратора с измерителем перепада давления позволит увеличить защитные свойства и уменьшить подсос воздуха через неплотности, образующиеся между полосой obturации и поверхностью лица работника во время выполнения производственных задач из-за ослабления системы крепления или превышение сопротивления пропускной способности фильтров и определения критического состояния их эксплуатации.

Разработка алгоритма работы измерителя перепада давления противопылевого респиратора. Датчик контроля перепада давления размещен в подмасковом пространстве респиратора. Его выход соединен с входом блока управления и обработки информации, который передает данные в блок сигнализации и устройства записи и хранения информации. После обработки информация сравнивается с базовыми значениями, которые соответствуют нормативным показателям (стандартам) и выдаются управляющие сигналы для включения световых и звуковых индикаторов. Кроме того информация записывается для хранения в устройствах записи и хранения информации. Предупредительные сигналы различной длительности и цикличности в зависимости от значения давления в подмасковом пространстве при осуществлении вдоха человеком хорошо видны в темноте и повышают вероятность привлечения внимания человека.

Экспериментальные исследования работоспособности противопылевого респиратора с измерителем перепада давления. Проверка работоспособности измерителя перепада давления установленного на противопылевом респираторе в лабораторных условиях показала сходимость результатов измерений перепада давления на фильтрах при опылении. Установлены периоды, когда измеритель перепада давления подает сигналы о необходимости замены фильтра и в случае сползания полумаски во время работы, когда образуются дополнительные зазоры.

Обсуждение полученных результатов. Основным отличием предложенного противопылевого респиратора от обычных, которые присутствуют в эксплуатации, является постоянный контроль перепада давления в подмасковом пространстве, что позволяет определять реальный срок защитного действия фильтров, а также обеспечить правильное расположение полумаски на

лице работника, контролируется как раз поддержкой минимальной величины разрежения в подмасковом пространстве. По этим показателям и определяют степень защиты работника при выполнении производственной деятельности в СИЗОД. Следовательно, введение измерителя перепада давления в СИЗОД позволит повысить защищенность работников от пыли во время выполнения производственной деятельности.

Выводы. Разработана конструкция измерителя перепада давления противопылевого респиратора, предложен алгоритм его работы, который позволяет контролировать изменение перепада давления дыхание из-за роста сопротивления фильтров при накоплении пылевого осадка на их поверхности, из-за потери плотности прилегания полумаски респиратора к поверхности лица работника во время выполнения им производственной деятельности.

Ключевые слова: вредные аэродисперсные частицы; противопылевой респиратор; полумаска; плотность прилегания; фильтр; измеритель давления

Dust Mask with a Pressure Drop Measuring Device

Cheberiyachko S.I., Cheberiyachko Yu.I., Deriyuhin O.V., Slavinskyi D.V.

Introduction. Respiratory diseases are the leaders among the scope of occupational diseases. This result from air pollution in working area by hazardous air disperse particles, gases, vapours or using individual respiratory protective devices (IRPD), which do not allow control of respiratory-protection period and thus increase the risk of occupational diseases.

Theoretical analysis of protective efficiency of dust respirators and research purpose statement. The use of dust respirators is associated with the following operational problems: protection factor is significantly reduced during the work activities, so it is needed to replace filtering components very often; non filtrated air leaks through the obturation line of half mask as a result of no uniform distribution of pressure; control of respiratory-protection period of filters is impossible.

Design of dust respirator with differential pressure meter. The solution of the problem is suggested as change of dust respirator by adding of differential pressure meter consisting of pressure control sensor, unit of control and information processing, appliance for information recording and storage, signal unit, and power source. The suggested design of dust respirator enables improvement of protection properties and reduction of air leakage through the gaps between obturation line and worker's face occurring during the work activities because of head harness weakening or exceeding of resistance of filters performance and determining of critical state of their exploitation.

Algorithm development for pressure meter operation of dust respirator. Pressure sensor is placed under the respirator mask. Its output is connected to input of unit of control and information processing, which transmits data to signal unit and appliance for information recording and storage. After the processing the information

is compared to settings and control signals are transmitted to turn on light and sound indicators. Moreover, the information is recorded to be stored in appliance for information recording and storage. Alert sounds of variable duration and cycles depending on pressure under the mask during the air inhalation are easy-to-see in darkness and are likely to attract worker's attention.

Experimental studies of workability of dust respirator with pressure meter. Laboratory workability check of pressure meter of respirator has demonstrated similarity of measuring results of pressure difference in filters in case of dusting. The periods were determined for pressure meter signals the need in filter change and in case of half mask sliding during the work activities resulting in new gaps.

Discussion. The main feature of the developed dust respirator in comparison with the common ones in sale is permanent monitoring of pressure difference under the

mask. It enables determining of actual protection period of filters and provides the right place of mask on face as being controlled by the maintenance of minimum value of air exhaustion under the mask. The level of worker protection during work activities wearing IRPD is determined with respect to the indicators. Thus, addition of pressure meter into IRPD enables improvement of workers' protection from dust during their work activities.

Conclusions. The design of pressure meter for dust respirator was developed. The algorithm of meter operation was proposed; it enables control of change of breath pressure difference using increase of filters resistance resulting from dust deposits on their surface, improper seal of respirator half mask and worker's face during the work activities.

Key words: harmful airborne particles; dust mask; half mask; fit density; filter; pressure gauge