

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

УДК 614.89

doi: 10.31498/2225-6733.41.2020.226205

© Чеберячко С.І.¹, Чеберячко Ю.І.², Дерюгін О.В.³,
Славінський Д.В.⁴, Клімов Д.Г.⁵**ФІЛЬТРУВАЛЬНИЙ РЕСПІРАТОР З ПРИМУСОВОЮ
ПОДАЧЕЮ ПОВІТРЯ**

Фільтрувальний респіратор з примусовою подачею повітря є ефективним засобом індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) користувачів в особливо небезпечних умовах, насичених шкідливими речовинами, в яких не можна користуватись іншими типами захисного спорядження. Для вирішення поставленої задачі застосовувались методи раціонального вирішення винахідницьких задач. Зокрема, застосовувався підхід готового об'єкта (об'єкт не змінюється), в якому підсилюється одна ознака, а також застосовувався вибір одного об'єкта із декількох, тобто опрацьовувалась одна пошукова концепція із декількох. Розроблено конструкцію фільтрувального респілятора з примусовою подачею повітря, який відрізняється від відомих аналогів наявністю блоку контролю об'єму і якості очищеного повітря, що вдихається, з урахуванням частоти і глибини дихання користувача при виконанні фізичного навантаження. Встановлено, що об'єм повітряного потоку, який потрапляє у підмасковий простір до органів дихання користувача, лінійно залежить від частоти обертання крильчатки вентилятора, однак при досягненні опору повітряному потоку через фільтри більше 7-7,5 мБар залежність стає нелінійною, що пов'язано зі зміною характеру фізичного навантаження. Практична цінність полягає у розробці ефективної конструкції фільтрувального респілятора з примусовою подачею повітря, запропоновано алгоритм його роботи, який дозволяє контролювати об'єм і якість очищеного повітря, що вдихається, з урахуванням частоти і глибини дихання користувача при виконанні фізичного навантаження, а також захисні властивості фільтрувальних елементів пристрою.

Ключові слова: шкідливі речовини, фільтрувальний респіратор, півмаска, прилад очищення повітря, щільність прилягання, фільтр, вимірювач тиску.

S.I. Cheberyachko, Yu.I. Cheberyachko, O.V. Deryugin, D.V. Slavinskiy, D.G. Klimov.
Filtering respirator with forced air supply. The filter respirator with forced air supply is an effective means of individual protection of respiratory organs (MIPRO) of users under especially dangerous conditions with air saturated with harmful substances while it is impossible to use other types of protective equipment. To solve this problem, methods of rational solution of inventive problems have been used. In particular, the approach of the finished object has been used (the object does not change), in which one feature is amplified; and the choice of one object from several objects has been applied, i.e. one search

¹ д-р техн. наук, професор, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3281-7157, sicheb@ukr.net

² д-р техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0001-7307-1553, cheberiyachkoyi@ukr.net

³ канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-2456-7664, deryugin_o@ukr.net

⁴ асистент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-7540-2077, dimnikson@gmail.com

⁵ аспірант, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-3817-9697, stalker.klimov@gmail.com

concept from several has been worked out. The design of a filter respirator with forced air supply has been developed, which differs from the known analogues by the presence of a unit for controlling the volume and the quality of purified air inhaled, with regard to the frequency and depth of the user breathing at exercise. It has been established that the volume of air flow that enters the submask space and gets into the user's respiratory organs is linearly dependent on the speed of the fan impeller, but when the resistance to air flow through the filters is more than 7-7,5 mBar, the dependence becomes nonlinear; it changing with the nature of physical activity. The practical value involves the development of an effective design of a filter respirator with forced air supply, the algorithm for its operation, that makes it possible to control the volume and the quality of purified air inhaled and takes into account the frequency and depth of the user breathing at exercise; the proposed algorithm also makes it possible to control the protective properties of the filter elements of the device at work.

Keywords: *harmful substances, filter respirator, half mask, air purification device, fit, filter, pressure meter.*

Постановка проблеми. Слабким місцем фільтрувальних респіраторів з природною подачею повітря є висока ймовірність проникнення забрудненого повітря через щілини між півмаскою і обличчям користувача через створене розрідження у підмасковому просторі під час процесу вдихання-видихання. Поява щілин між обличчям і поверхнею півмаски пов'язано з антропометричними відмінностями обличчя користувача, рухами головою, послабленням притискних зусиль наголів'я та ін. Вважається, що у ЗІЗОД відповідного типу просочування в підмасковий простір забрудненого повітря, що вміщує шкідливі речовини, можуть сягати до 20% від загального об'єму повітря, що вдихається [1]. Тому захист органів дихання працівників підприємств зі шкідливими умовами виробництва, рятувальників та цивільного населення під час виникнення надзвичайних ситуацій (техногенних аварій, розповсюдження небезпечних вірусних інфекцій, бойових дій, терористичних актів, пожеж різної етимології, особливо в умовах наявності невідомого складу токсикантів у повітрі) є надзвичайно важливою і актуальною задачею. Один із шляхів її вирішення – розробка ефективних ЗІЗОД з примусовою подачею повітря, що відповідають наступним вимогам: багатофункціональність, простота конструкції, мінімальний час підготовки пристрою і користувача до експлуатації, контроль експлуатаційних параметрів захисної роботи пристрою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз комерційного ринку продажів подібних фільтрувальних респіраторів з примусовою подачею повітря вказує, що не так багато й виробників можуть дозволити виробництво відповідних приладів. Так, їх розробкою і виготовленням займаються відомі компанії-виробники, серед яких можна зазначити наступних: «Drager Sarety AG&Co. KGaA», «UVEX», «Delta Plus», «Sundström Safety AB», «ЗМ», «Mine Safety Appliances» [2]. Компанії-виробники широко використовують для проектування півмасок інформаційні технології для визначення антропометричних характеристик обличчя працівників, побудови 3D-моделі голови користувача і відповідної цифрової поверхні респіратору [3, 4]. Наступний крок – це підбір технологічного обладнання, пакету фільтрувальних матеріалів для забезпечення відповідної захисної ефективності ЗІЗОД. Також конструктори намагаються вирішити і низку супутніх задач, які пов'язані з негативним впливом носіння фільтрувальних респіраторів, надмірний опір диханню, дискомфорту, перегріву та ін. [5]. Нажаль до сьогодні невирішеною проблемою залишається накопичення тепла і поту в просторі захисної маски фільтрувального респіратора [6]. Незважаючи навіть на розташовані спеціальні повітродувки, які значно збільшують масу фільтрувального респіратора і збільшують незручності його використання [7, 8]. Ще однією досить суттєвою проблемою використання фільтрувальних респіраторів є психологічне навантаження на користувача, яке проявляється через посилення тривоги, і як наслідок, прояв різних психосоматичних розладів [9]. Їх поява серйозно впливає на працездатність працівника та змушує робити значну кількість перерв для відпочинку. Для вирішення цієї задачі компанії-виробники ведуть пошук нових еластомерних матеріалів, передбачають можливість індивідуальної підгонки півмаски з врахуванням антропометричних розмірів обличчя користувача, намагаються розробляти комплексні ЗІЗОД [10, 11].

Враховуючи, що з кожним роком підвищуються вимоги до захисту органів дихання кори-

стувачів, виникає необхідність у посиленні контролю за захисними властивостями ЗІЗОД під час їх експлуатації [12]. Особливо це стосується сучасних фільтрувальних респіраторів з примусовою подачею повітря. Досить складна конструкція фільтрувального респілятора вимагає постійного моніторингу за ефективністю роботи нагнітаючого вентилятора через значний опір потоку повітря, який виникає у повітропроводі, зумовлений невеликими розмірами повітряних каналів, необхідність роботи на підвищених обертах, що викликає значний шум та швидке зниження рівня заряду акумулятора. Крім того, неефективна робота системи управління фільтрувальним респіратором, яка у випадках різкого підвищення витрати повітря (більше 300 л/хв) при виконанні важкої роботи вмикає вентилятор із запізненням, що призводить до утворення під маскою від'ємного (негативного) тиску, а значить може призвести до підсмоктування нефільтрованого повітря за смугою обтюрації, а також до збільшення концентрації вуглекислого газу. Також низька усмоктувальна спроможність відцентрованого вентилятора, що не дозволяє його використання в атмосфері, забрудненій декількома різними шкідливими речовинами, що потребує для захисту встановлення одночасно декількох протигазових фільтрів, встановлених послідовно. Все перераховане вимагає розробки нової конструкції фільтрувального респілятора з примусовою подачею повітря.

Метою дослідження є розробка конструкції фільтрувального респілятора з примусовою подачею повітря з можливістю автоматичного регулювання об'єму повітряного потоку у відповідності до характеру фізичного навантаження користувача на протязі усього терміну роботи з підтриманням належного рівня захисних властивостей пристрою.

Виклад основного матеріалу. Запропоновано конструкцію фільтрувального респілятора з примусовою подачею повітря, яка відрізняється від відомих аналогів наявністю блоку контролю об'єму і якості очищеного повітря, що вдихається, який в автоматичному режимі корегує об'єм повітря у підмасковому просторі з урахуванням частоти і глибини дихання користувача при виконанні фізичного навантаження. Фільтрувальний респіратор з примусовою подачею повітря (рис. 1) складається із захисної шолом-маски (1), яка прилягає до обличчя користувача за допомогою обтюрації (2) і фіксується з можливістю регулювання сили притискання до обличчя за допомогою ремінців наголів'я (3). Шолом-маска (1), яка має клапани вдиху (6) та видиху (7), з'єднана гнучким гофрованим повітропроводом (5) з пристроєм очищення повітря (4).

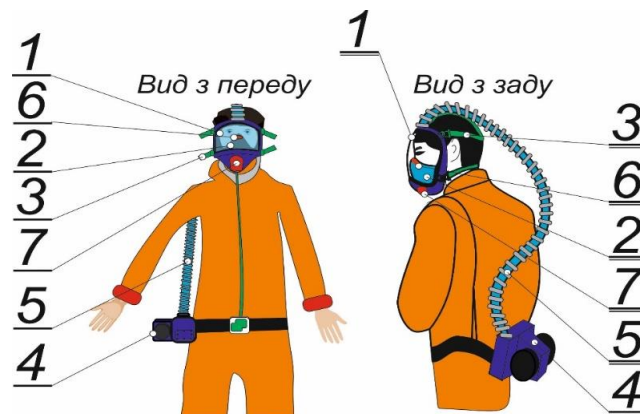


Рис. 1 – Загальний вид фільтрувального респілятора з примусовою подачею повітря на користувачі: 1 – шолом-маска; 2 – обтюратор; 3 – ремінці наголів'я; 4 – пристрій очищення повітря; 5 – гофрований повітропровід; 6, 7 – клапан вдиху/видиху

Конструкція пристрою для очищення повітря наведена на рис. 2. Схематично-конструктивна схема фільтрувального респілятора з примусовою подачею повітря складається з наступних елементів: шолом-маски (1), обтюрації (2), ремінців наголів'я (3), пристрою очищення повітря (4), гнучкого гофрованого повітропроводу (5), клапана вдиху (6), клапана видиху (7), корпусу пристрою очищення повітря (8), фільтрувальних елементів (9), блоку управління (10), тумблеру «Вмикання/вимикання» (11), кнопки № 1 (12) «Коригування інформації» (час, день тижня, місяць, температура навколишнього середовища, вологість); кнопки № 2 (13) «Коригування режиму» (автоматичний режим, турборежим, аварійний режим); кнопки

№ 3 (14) «Підсвітка дисплею»; світлових індикаторів: світловий індикатор червоного кольору (15) «Аварія», світловий індикатор синього кольору (16) «Турбо», світловий індикатор зеленого кольору (17); карти пам'яті (18) дисплею (19); гучномовцю (20); роз'єму для підзарядки елементів живлення (21); USB-роз'єму для підключення к ПЕОМ для налаштування і коригування програмного забезпечення роботи пристрою для очищення повітря (22); блоку контролю (23); блоку живлення (24), в склад якого входять три елемента живлення (25); каналу (26); вентилятора (27); контролера (28); тахометра (29); стабілізатора напруги (30); датчика контролю наявності пилу в атмосфері робочої зони (31); датчика контролю температури і вологості в атмосфері робочої зони (32); датчика контролю концентрації вуглекислого газу в атмосфері робочої зони (33); датчика контролю тиску в зоні низького тиску (34); датчика контролю тиску в зоні високого тиску (35); датчика контролю температури і вологості в зоні високого тиску (36); підігрівача очищеного повітря (37).

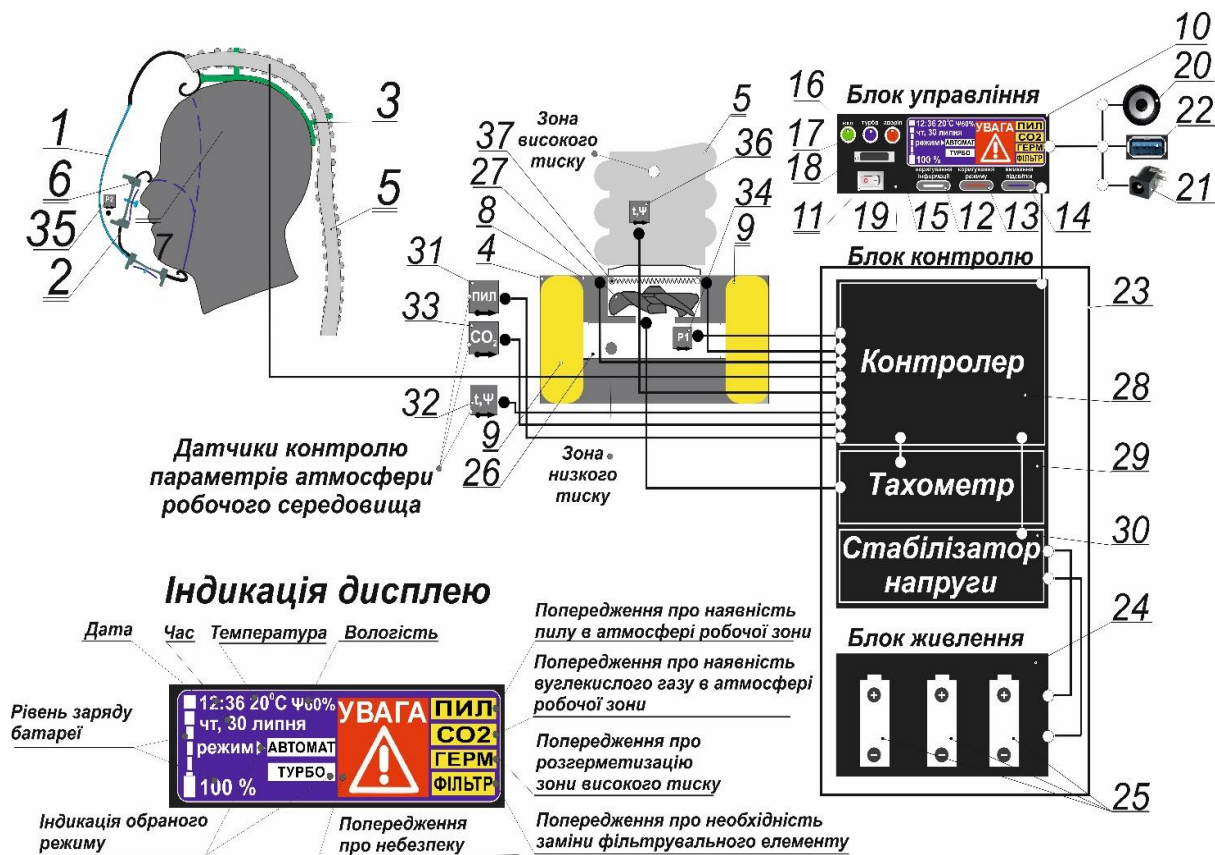


Рис. 2 – Схематично-конструктивна схема фільтрувального респіратору з примусовою подачею повітря

В корпусі пристрою очищення повітря розміщено блок управління, стабілізатор напруги з блоком живлення, блок контролю за параметрами повітряного потоку та багатофункційною системою датчиків, встановлених в корпусі пристрою (рис. 3), з можливістю регулювання основних параметрів повітряного потоку в підмасковому просторі через регулювання кількості обертів вентилятора у заданому діапазоні.

У фільтрувальному респіраторі з примусовою подачею повітря реалізовано декілька режимів роботи:

- автоматичний, що базується на вихідних сигналах з датчиків контролю параметрів повітря, інформація з яких надходить до контролера, де проводиться їх обробка за відповідним алгоритмом (рис. 4) та здійснюється управління обертами вентилятора, підігрівачем очищеного повітря, індикації та сигналізації, що висвітлюється на дисплеї блоку очищення повітря;

- режим «Турбо», який включається у випадку сильного забруднення фільтрувальних елементів для збільшення кількості обертів вентилятора, що регулюється контролером у випад-

ку надходження відповідних сигналів з датчиків контролю;

- аварійний режим, який включається при мінімальному заряду акумулятора чи при досягненні критичної величини перепаду тиску для швидкого виходу працівника з небезпечної зони.

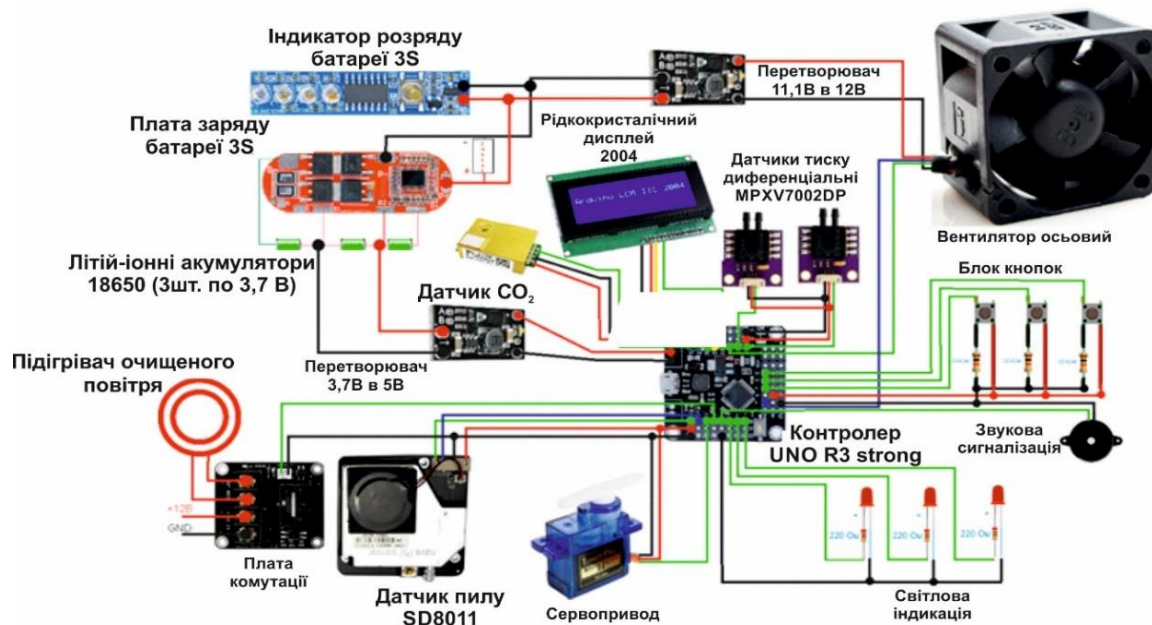




Рис. 3 – Схема блоку контролю за параметрами повітряного потоку



Рис. 4 – Алгоритм роботи блоку управління фільтрувального респіратору з примусовою подачею повітря

В таблиці 1 наведена детальна інформація про режими роботи фільтрувального респіра-тора з примусовою подачею повітря з відповідним зображенням на дисплеї.

Таблиця 1

Зображення інформації дисплею блоку управління в залежності від режиму роботи	Алгоритм вмикання пристрою у відповідному режимі
1. Підготовка пристрою до роботи	
<p>День тижня, дата, місяць Час Температура Вологість Ступінь заряду</p> 	<p>Для підготовки пристрою до роботи необхідно натиснути на тумблер «Вмикання/вимикання» (11), при цьому на дисплеї (19) блоку управління (10) загориться світлодіод зеленого кольору «Вкл.» (17). Після проводиться коригування інформації, що виводиться на дисплей пристрою за допомогою кнопки «Коригування інформації» (12): день тижня, дата, місяць, час (години, хвилини). Перевіряється контроль температури і вологості повітряного простору робочої зони. Перевіряється підсвітка дисплею (19) шляхом натискання кнопки «Вмикання підсвітки» (14). Перевіряється ступінь заряду блоку живлення (24). Індикація стану елементів живлення (25) здійснюється за допомогою сигнальної індикації, яка миготить при залишковій ємності елементів живлення (25) не менше 25-30%; при зниженні напруги на стеку акумулятора до 2,8-3 В вентилятор (27) відключається.</p>
2. Продувка пристрою очищення повітря	
	<p>Для здійснення продувки пристрою необхідно натиснути тумблер «Вмикання/вимикання» (11), при цьому на дисплеї (19) блоку управління (10) загориться світлодіод зеленого кольору «Вкл.» (17). Натискається кнопка «Вмикання підсвітки» (14) і кнопка «Коригування режиму» (13). За допомогою кнопки «Коригування режиму» (13) виставляється режим «автоматичний». При цьому починає обертатися вентилятор (27) і нагнітати повітря із зовнішнього середовища в шолом-маску (1). При цьому вентилятор (27) обертається з постійною швидкістю. Користувач долонею руки перевіряє надходження повітря в шолом маску.</p>

Продовження таблиці 1

3. Робота пристрою в автоматичному режимі

Індикація дисплею при наявності пилу в атмосфері



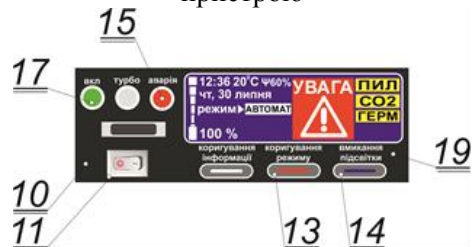
Індикація дисплею при наявності в атмосфері CO₂



Індикація дисплею при наявності в атмосфері пилу і CO₂



Індикація дисплею при втраті герметизації пристрою



Включення пристрою для роботи в автоматичному режимі: натискається тумблер «Вмикання/вимикання» (11), при цьому на дисплеї (19) блоку управління (10) загориться світлодіод зеленого кольору «Вкл.» (17). Натискається кнопка «Вмикання підсвітки» (14) і кнопка «Коригування режиму» (13).

За допомогою кнопки «Коригування режиму» (13) виставляється режим «автоматичний». При цьому починає обертатися вентилятор (27) і нагнітати повітря із зовнішнього середовища в простір шолом-маски (1). Користувач одягає на обличчя шолом маску (1) і за допомогою ремінців наголів'я регулює щільне притискання шолом-маски (1) до голови і ретельно перевіряє комфортне притискання обтюратора до обличчя. Також користувач перевіряє герметичність з'єднання фільтрувальних елементів (9) з корпусом (8) очищувача повітря (4), з'єднання корпусу (8) очищувача повітря (4) з гофрованим повітроводом (5) і з'єднання гофрованого повітроводу (5) з шолом-маскою (1). Після перевірки пристрою очищення повітря користувач одягає шолом-маску (1), закріплює пристрій очищення повітря (4) на поясі за спиною для зручності.

4. Робота пристрою в режимі «Турбо»

Індикація дисплею при наявності в атмосфері пилу і CO₂



Включення пристрою для роботи в режимі «Турбо»: натискається тумблер «Вмикання/вимикання» (11), при цьому на дисплеї (19) блоку управління (10) загориться світлодіод зеленого кольору «Вкл.» (17). Натискається кнопка «Вмикання підсвітки» (14) і кнопка «Коригування режиму» (13). За допомогою кнопки «Коригування режиму» (13) виставляється режим «Турбо» і при цьому вмикається світлодіод синього кольору «Турбо» (16) і на дисплеї (19) загоряється попередження «УВАГА!», «ФІЛЬТР». При цьому починає обертатися вентилятор (27) на максимально можливих обертах і нагнітати повітря із зовнішнього середовища в простір шолом-маски (1) до органів дихання користувача.

Особливістю роботи фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря в автоматичному режимі роботи є постійний контроль перепаду тиску (розрідження) повітряного потоку через зміну рівня напруги в діапазоні від 0,5 В до 4,5 В за формулою:

$$V_{out} = VS \times (0,2 \times P + 0,5) \pm 6,25\%VFSS, \text{ В} \quad (1)$$

де V_{out} – рівень напруги вихідного сигналу, В; VS – наруга живлення, В, $VS = 5$ В; $VFSS$ – повний масштабний проміжок напруги, визначається як алгебраїчна різниця між вихідною напругою при повному номінальному тиску і вихідною напругою при мінімальному номінальному тиску, В; P – тиск (розрідження) у датчику, кПа. Сигнал від датчика перепаду тиску надходить до аналогового порту контролера, де перетворюються цілочисельні значення в межах від 0 до 1023 відповідно.

Одержані значення використовуються для корегування швидкості обертання вентилятора, яке відбувається наступним чином: якщо тиск зменшується (відбувається вдих), то швидкість обертання вентилятора, яка контролюється тахометром, підвищується, і навпаки, відбувається видих – швидкість вентилятора зменшується. Рішення про збільшення/зменшення швидкості повітряного потоку формується у контролері на основі порівняння дійсних та попередніх вимірних значень перепаду тиску у гофрованому повітропроводі, з урахуванням поточної швидкості обертання вентилятора, що визначається тахометром вентилятора. Знаючи частоту проходження імпульсів сигналу тахометра, можна розрахувати швидкість обертання вентилятора за формулою:

$$V = 30 \times f_m, \text{ об/хв.} \quad (2)$$

Сигнал з тахометра f_m подається в контролер, де порівнюється з частотою f_s , що відповідає необхідній витраті повітря, і в разі виникнення умови $f_m > f_s$, яка також задається режимом праці (відповідно програмного забезпечення на контролері): легкий режим роботи, який характеризується подачею повітря 140-160 л/хв (оберти вентилятора знаходяться в діапазоні 800-1000 хв⁻¹); середній режим роботи, який характеризується подачею повітря 170-180 л/хв (оберти вентилятора знаходяться в діапазоні 1100-1200 хв⁻¹); тяжкий режим роботи, який характеризується подачею повітря на рівні 190-220 л/хв, (оберти вентилятора знаходяться в діапазоні 1300-1700 хв⁻¹). Інформація з датчика перепаду тиску постійно надходить до блоку контролю та зберігається на карті пам'яті.

Робота блоку контролю фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря. Блок контролю параметрів повітряного потоку побудований на основі модуля «Arduino Uno R3 Strong» (розроблений на базі мікроконтролера «ATmega328P-AU»), який виконує наступні задачі:

- контроль та управління режимами роботи вентилятора;
- контроль тиску в зонах низького та високого тиску;
- контроль вмісту вуглекислого газу (CO₂) та пилу у вдихуваному повітрі;
- контроль температури та вологості повітря;
- сигналізація у вигляді світлових і звукових сигналів.

Блок контролю виконує наступні функції:

- забезпечує стабілізацію рівня заданої витрати повітряного потоку;
- приймає та перетворює згідно з програмним алгоритмом аналогові та цифрові сигнали рівня CO₂, наявності пилу, температури та вологості повітря;
- контролює перепади тиску на фільтрувальних елементах;
- видає відповідні сигнали для включення світлової та звукової індикації.

Принципова електрична схема модуля «Arduino Uno R3 Strong» (на базі мікроконтролера «ATmega328P-AU») представлена на рис. 5. Основні технічні параметри мікроконтролера наведені в табл. 2.

«ATmega328P-AU» – це мікроконтролер, який використовується в модулі «Arduino Uno R3 Strong» в якості основного контролера. «ATmega328P-AU» – мікроконтролер з сімейства AVR; це 8-бітовий пристрій, архітектура шини даних і внутрішні регістри якого призначені для обробки 8 паралельних сигналів даних.

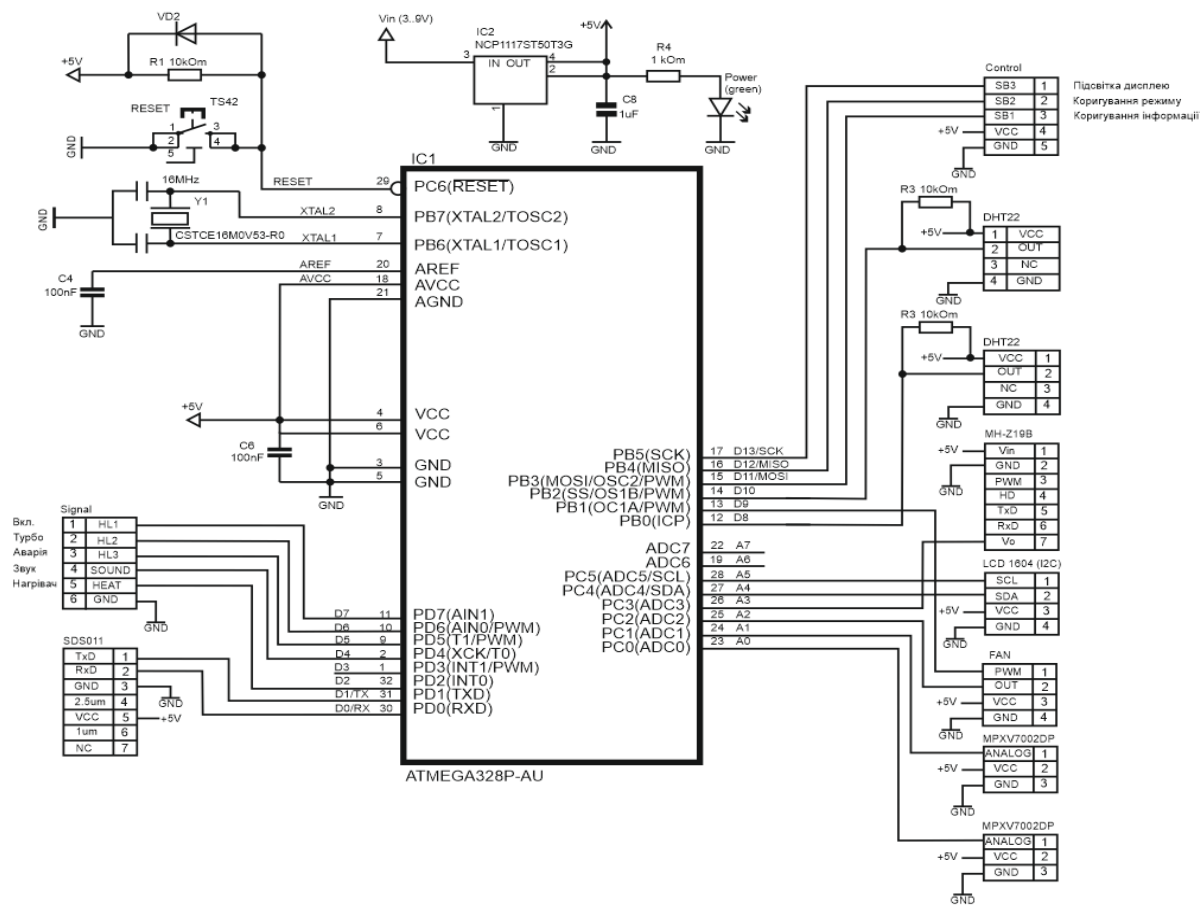


Рис. 5 – Принципова електрична схема блоку контролера «Arduino Uno R3 Strong»

Таблиця 2

Основні технічні характеристики мікропроцесора «ATmega328P-AU»

Ядро	8-бітний AVR
Частота процесора AVR	max 20МГц
Пам'ять	
EEPROM (ППЗП)	1 Кб
SRAM (ОЗП)	2 Кб
FLASH ROM	32 Кб
Таймери:	
8bit	2
16bit	1
RTC\Real Time Clock (реальний час)	1
PWM (ШИМ-перетворювачі 8bit, вихід)	6
Загальна кількість портів входу/виходу:	23
Аналогові, по 10bit (вхід)	8
Послідовний UART / Serial	1
Послідовний SPI Master/Slave	1
Послідовний I ² C	1
Цифрові входи\виходи	12
Живлення плати «Arduino Mega 2560»	1,8-5,5 В

В модулі «Arduino Uno R3 Strong» використано мікроконтролер «ATmega328P-AU» в корпусі TQFP-32, що означає, що він має 32 контакти в квадратному корпусі (SMD-тип для поверхневого монтажу). Ці контакти включають в себе контакти живлення і вводу/виводу. Біль-

шість контактів є багатфункціональними, що означає, що один і той же контакт може використовуватися в різних режимах в залежності від того, як він налаштований в програмному забезпеченні. Це зменшує необхідну кількість виводів, оскільки мікроконтролеру не потрібно окремих виводів для кожної функції.

Максимальна частота роботи мікроконтролера «ATmega328P-AU» сягає 20 МГц. Керамічний резонатор 16 МГц (CSTCE16M0V53-R0) підключається до портів мікроконтролера XTAL1 і XTAL2. Для роботи мікроконтролера на максимальній тактовій частоті (20 МГц) напруга живлення має бути не менше 4,5 В.

Живлення мікроконтролера може виконуватись через роз'єм micro-USB або через клеми підключення джерела постійного струму. Для живлення мікроконтролера може бути використане джерело постійного струму з напругою від 3 до 9 В. Стабілізація напруги на рівні 5 В забезпечується регулятором NCP1117ST50T3G. Для фільтрації «шуму» джерела живлення додані конденсатори C4 і C6 по 100 нФ. Конденсатори передають високочастотні «шумові» сигнали на землю з низьким опором. Для захисту від електростатичного розряду від RESET до Vcc встановлено діод VD2. Також для запобігання помилковому скиданню в «шумному» середовищі використано резистор 10 кОм.

Мікроконтролер «ATmega328P-AU» має три порти: PORTC, PORTB і PORTD. Всі контакти цих портів можуть використовуватися для цифрового вводу-виводу загального призначення або для альтернативних функцій. Контакти PORTC від A0 до A5 можуть бути входами АЦП. Також є кілька контактів, які можна налаштувати як вихід ШІМ (PWM).

Сигнал від тахометра вентилятора надходить на контакт A2 контролера. Цей сигнал порівнюється з відповідним значенням у програмі (значення залежить від режиму роботи пристрою). На основі цього порівняння останній виробляє сигнал ШІМ для керування частотою обертання крильчатки вентилятора. Сигнал ШІМ надходить на контакт D9.

Для відображення інформації про роботу пристрою очищення повітря використано рідкокристалічний дисплей LCD 1604, що підключений до модуля «Arduino Uno R3 Strong» через інтерфейс I2C до контактів A4 (SDA) та A5(SCL). I2C (Inter-Integrated Circuit) – послідовна шина даних, що використовує дві двонаправлені лінії, які підтягнуті до напруги живлення та керувані через відкритий колектор або відкритий сток – послідовна лінія даних (Serial DA) та послідовна лінія тактування (Serial CLock).

Аналоговий сигнал від датчика концентрації CO₂ надходить на контакт A3, де за допомогою модуля АЦП перетворюється у цифровий вигляд та порівнюється із заданим граничним значенням. В разі перевищення граничного значення на дисплеї відображається повідомлення «УВАГА!», «CO₂».

Інформація про температуру та вологість повітря в навколишньому середовищі та в гофрованому повітропроводі збирається за допомогою датчиків DHT22. Датчик DHT22 складається з двох частин – емнісного датчика температури і гігрометра. Перший використовується для вимірювання температури, другий – для вологості повітря. Чіп, що знаходиться всередині, виконує аналого-цифрові перетворення і видає цифровий сигнал, який зчитується за допомогою мікроконтролера. Датчики DHT22 підключені до контактів D8, D10.

Датчик наявності пилу SDS011 (лазерний) у повітропроводі підключений через контакти D0 і D1 (RX, TX) до послідовного інтерфейсу UART (універсальний асинхронний приймач/передавач). В разі наявності пилу в гофрованому повітропроводі на дисплеї висвітлюється інформація – «УВАГА!», «ПИЛ».

Для вибору режиму роботи пристрою та коригування інформації використані кнопки, що підключені до контактів D11, D12, D13.

Для швидкого інформування користувача використано світлодіодні індикатори (D5, D6, D7) та гучномовець (D4).

Для регулювання витрати повітря був використаний тахометричний перетворювач з аксіальною турбіною, створений на основі малогабаритного осьового безколекторного вентилятора загального призначення типу HA4010V4 [13]. Його відмінністю є наявність левітаційної магнітної системи («Magnetic Levitation System» [14]), котра нейтралізує власну вагу ротора і стабілізує його положення незалежно від просторового розташування, що виключає вібрацію в роботі вентилятора та дозволяє збільшити термін безаварійної роботи до 60000 годин при 40°C та 65% вологості [13]. У вентиляторах зазначеного типу положення ротора (крильчатки з 4-полюсним

(N-S-N-S) кільцевим магнітом визначається датчиком Холла, вбудованим до спеціальної мікросхеми типу «FS276», внутрішні комутатори якої використовуються для комутації обмоток збудження нерухомого статора. На виходах мікросхеми формуються два протифазних імпульси, кожен з яких може бути використаний для формування тахометричного сигналу. Для використання вентилятора «HA4010V4» в якості тахометра важливо не допустити протікання струму через обмотки збудження L1 і L2 (рис. 6, а), тобто перешкодити створенню магнітного поля в статорі, а, з іншого боку, зберегти ланцюг живлення мікросхеми D1, яке здійснюється через ті ж самі обмотки. Поставлена задача була вирішена заміною обмоток збудження статора резисторами R1 і R2 (рис. 6, б).

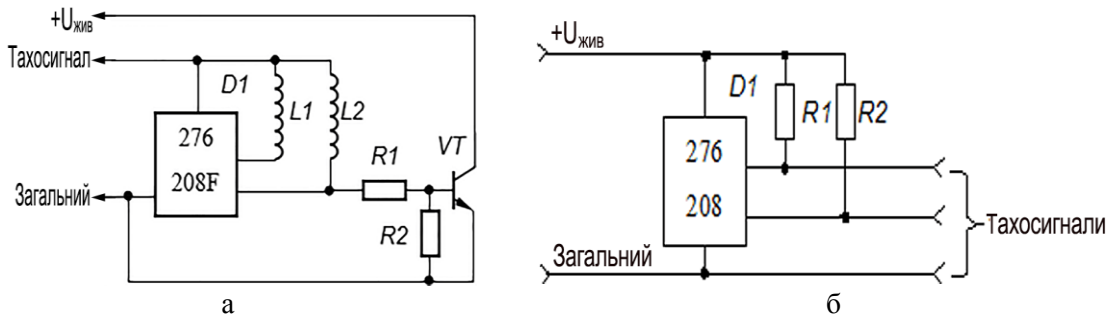


Рис. 6 – Схеми включення безколекторного вентилятора HA4010V4: а – звичайного; б – модернізованого

Лабораторні випробування працездатності блоку управління фільтрувального респіратору з примусовою подачею повітря. Проведення лабораторної перевірки працездатності макету блоку управління фільтрувального респіратору з примусовою подачею повітря проводили на спеціальному стенді (рис. 7).

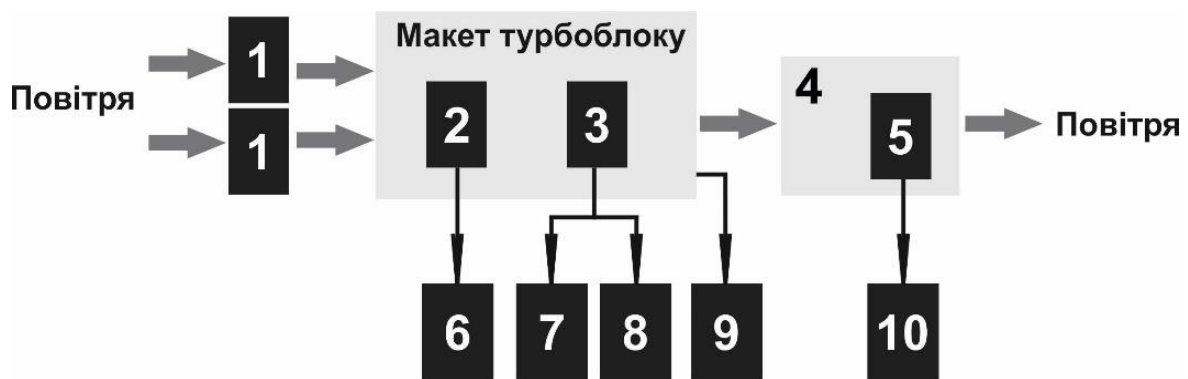


Рис. 7 – Блок-схема стенду для лабораторних випробувань макету блоку управління: 1 – імітатори опору повітряного потоку фільтрів; 2 – вентилятор; 3 – тахометричний датчик витрати повітря; 4 – гнучкий трубопровід для вимірювання швидкості потоку повітря; 5 – датчик анемометра; 6 – блок живлення; 7 – осцилограф; 8 – частотомір; 9 – диференціальний манометр; 10 – блок управління анемометром «DT-8880»

Блок-схема випробувального стенду представляє собою послідовне з'єднання фільтрів, спонукача витрати повітря, таходатчика, гофрованого трубопроводу, в якому розміщувався анемометр. Контроль за частотою обертання таходатчика і формою вихідних сигналів здійснювали за допомогою частотоміра електронно-лічильного «ЧЗ-57» і осцилографа «С1-94», відповідно. Швидкість повітряного потоку і перепад тиску вимірювали анемометром «DT-8880» (діапазон вимірів 0,1÷25,0 м/с; роздільна здатність 0,01 м/с; відносна похибка ±5%) і електронним дифманометром «Testo 512». Температуру повітря і атмосферний тиск контролювали, відпові-

дно, барометром-анероїдом «БАММ-1» (відносна похибка $\pm 0,8$ мм рт. ст.) та термометром «ТЛ-02» (відносна похибка $\pm 0,5^\circ\text{C}$). Для імітації зростання опору повітряному потоку фільтрів в діапазоні 4-10 мБар використовували спеціальний регульовальний конусоподібний шибер, який приєднувався до одного з вхідних патрубків в корпусі стенду [15]. При цьому враховувалося, що опір фільтрів, як правило, не перевищує 9...10 мБар [16-18].

Результати лабораторних випробувань макету блоку управління з вентилятором «НА4010V4», які наведені у табл. 3 та на рис. 8, показують, що необхідний рівень витрати повітря (не менш ніж 150-160 $\text{дм}^3/\text{хв}$) забезпечується у повному обсязі, а залежність частоти обертання крильчатки вентилятора має лінійний характер. Однак при зміні опору фільтрів вказана залежність стає нелінійною (рис. 9) і при досягненні опору повітряного потоку 7-7,5 мБар, витрата повітря падає менше 150 $\text{дм}^3/\text{хв}$, що є недопустимим і вимагає включення додаткового каналу для зменшення опору фільтрів.

Таблиця 3

Результати випробувань макета з вентилятором «НА4010V4»

Напруга живлення вентилятора, В	Частота обертання вентилятора, Гц	Швидкість повітряного потоку м/с	Об'ємна витрата повітря $\text{дм}^3/\text{хв}$	Перепад тиску на вході турбоблоку, мБар
вентилятор «НА4010V4» (звичайний)				
9,00	32,0	0,83	191,6	4,5
10,00	56,3	1,00	230,8	6,0
11,02	70,4	1,15	265,4	7,0
12,03	80,5	1,27	293,1	8,0
12,99	89,6	1,34	309,26	8,50
14,00	96,4	1,41	325,41	9,50
вентилятор «НА4010V4» (модернізований)				
10,92	33,1	0,49	152,3	4,0
11,99	51,6	0,55	177,7	4,5
13,06	57,8	0,59	191,6	5,0
13,23	66,5	0,6	203,1	5,0
13,82	73,8	0,63	210,0	5,4

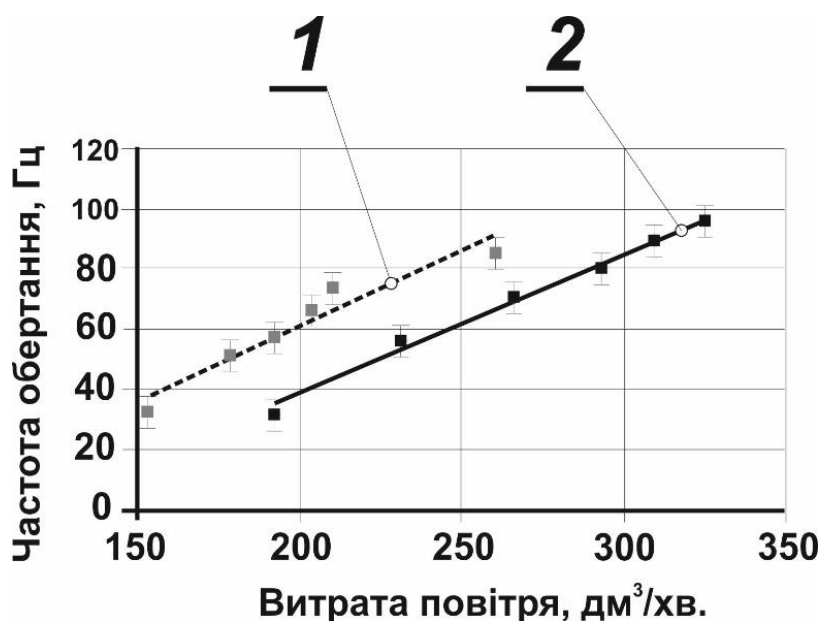


Рис. 8 – Графіки залежностей витрати повітря від частоти обертання вентилятора «НА4010V4» немодернізованого (1) і модернізованого (2) з заміною обмоток збудження статора резисторами

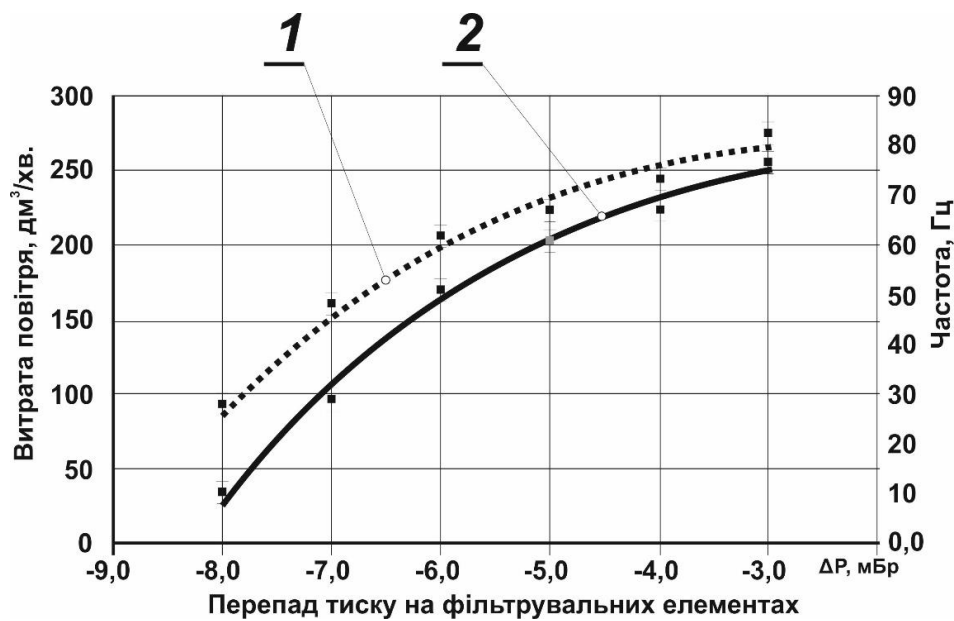


Рис. 9 – Графіки залежностей витрати повітря і частоти обертання вентилятора «НА4010V42 немодернізованого (1) і модернізованого (2) з заміною обмоток збудження статора резисторами від зміни величини опору фільтрів

З початку 90-х рр. минулого сторіччя стали активно розвиватись респіратори і протигази з механічним нагнітанням повітря в підмасковий або підшоломний простір через фільтрувальні елементи («Powered air purifying respirators» (PAPR)). Значною мірою поява таких моторових повітрянагнітальних фільтрувальних пристроїв (МПФП) [19] обумовлена тим, що за більш ніж столітній період конструювання респіраторів так і не вдалося створити універсальну маску зі смугою обтюрації, яка б на 100 відсотків щільно прилягала до обличчя будь-якого користувача [20]. Застосування МПФП, окрім зменшення впливу якості смуги обтюрації на захисні властивості ЗІЗОД та значного полегшення режиму дихання в порівнянні з використанням традиційних фільтрувальних ЗІЗОД, дозволяє створити комплексний ЗІЗ органів дихання, зору і слуху, голови та плечового поясу користувача. Оскільки ЗІЗОД з позитивним тиском створюють більш надійний захист при зменшеному опорі диханню, на даний час саме вони складають основну частку пристроїв з механічним нагнітанням повітря, що серійно випускаються для використання в умовах з особливо важкими умовами праці. Відомо [21, 22], що рухова активність людини та інтенсивність дихання взаємопов'язані: поглиблення і почастишення дихання в процесі роботи призводять до збільшення миттєвих об'ємних витрат повітряних потоків на фазах дихального циклу, зокрема їх максимальні величини. Так, якщо в режимі спокою вони дорівнюють приблизно 25÷30 дм³/хв, а при звичайній ходьбі людина споживає 50 дм³/хв (частота дихання 25 циклів/хв, разовий обсяг вдихуваного повітря 2 дм³), то при важких фізичних навантаженнях легенева вентиляція сягає 157 дм³/хв (максимальна величина) [22]. Отже, обсяг повітря, що прокачується через фільтр ЗІЗОД за допомогою МПФП, повинен становити не менше 60 дм³/хв. Тому виникла необхідність у забезпеченні моніторингу за витратою повітря саме за рахунок запровадження блоку управління з наявністю багатофункціональної системи датчиків, встановлених в корпусі пристрою. Блок управління є нескладним у виготовленні, має невисоку вартість, забезпечує повторюваність операцій і задані показники працездатності з вентилятором «НА4010V4». Разом з тим існує необхідність подальших досліджень, оскільки на величину витрати повітря значно впливають різноманітні домішки у повітряному потоці, які призводять до підвищеного зносу пар тертя і тим самим погіршують працездатність. Однак в даному випадку, враховуючи той факт, що в блоці управління вентилятор розташовується після досить ефективних газопилозахисних фільтрів, його запиленість можна вважати незначною [23]. В якості фільтрувальних елементів можна застосовувати стандартні протипилові, протигазові або комбі-

новані фільтри; обґрунтування їх вибору базується на розумінні величин об'ємних витрат повітря на фазах дихального циклу.

Основою технологічних передумов створення подібних блоків є досягнення в області конструювання малогабаритних безшумних турбовентиляторів, джерел електроживлення до них, а також розвиток мікроелектронних і мікромеханічних пристроїв, що дозволили суттєво зменшити масо-габаритні характеристики конструкції в цілому і оптимізувати дихальний режим в новому поколінні ЗІЗОД. В той же час більшість перетворювачів забезпечують точність вимірювання лише в тому випадку, коли розподіл швидкості в перерізі трубопроводу сформовано і відповідає режиму течії. Наявність в гофрованому трубопроводі місцевих опорів і, отже, деформації потоку призводить до збільшення похибки вимірювання. Наприклад, показання турбінного витратоміра можуть змінитися до 10% при наявності коліна перед перетворювачем в залежності від радіуса коліна і відстані між ним і перетворювачем.

Висновки

1. Запропонована конструкція фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря, в якому введений новий елемент – блок контролю параметрів повітряного потоку (об'єм, швидкість, температура, вологість), який надходить у підмасковий простір. Це дозволяє забезпечити необхідний об'єм повітря у підмасковий простір фільтрувального респіратора за рахунок управління кількістю обертів вентилятора у заданому діапазоні з врахуванням частоти та глибини дихання користувача в залежності від фізичного навантаження.

2. Встановлено, що об'єм повітряного потоку, який потрапляє у підмасковий простір до органів дихання користувача, лінійно залежить від частоти обертання крильчатки вентилятора, однак при досягненні опору повітряному потоку через фільтри більше 7-7,5 мБар залежність стає нелінійною, що пов'язано зі зміною характеру фізичного навантаження.

3. Практична цінність полягає у розробці удосконаленої конструкції фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря, який відрізняється від аналогів додатковим блок-контролем за параметрами повітряного потоку, який забезпечує контроль захисних властивостей фільтрів в результаті обробки даних системи датчиків, встановлених в корпусі пристрою.

Перелік використаних джерел:

1. Tannahill S.N. Workplace protection factors of HSE approved negative pressure full facepiece dust respirators during asbestos stripping: preliminary findings / S.N. Tannahill, R.J. Willey, M.H. Jackson // *The Annals of Occupational Hygiene*. – 1990. – № 34 (6). – Pp. 547-552. – Mode of access: [DOI: 10.1093/annhyg/34.6.547](https://doi.org/10.1093/annhyg/34.6.547).
2. Wood G.O. Estimating Reusability of Organic Air-Purifying Respirator Cartridges / G.O. Wood, J.L. Snyder // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. – 2011. – № 8 (10). – Pp. 609-617. – Mode of access: [DOI: 10.1080/15459624.2011.606536](https://doi.org/10.1080/15459624.2011.606536).
3. Петрачкова Н.М. Анализ эффективности средств индивидуальной защиты горнорабочих в зимних условиях / Н.М. Петрачкова // *Научные исследования и разработки молодых ученых*. – 2014. – № 1. – С. 106-109.
4. Гудков С.В. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования : учебное пособие / С.В. Гудков, С.И. Дворецкий, С.Б. Путин, В.П. Таров. – М. : Машиностроение, 2008. – 188 с.
5. Mang C. Customized design and 3D printing of face seal for an N95 Filtering Facepiece Respirator / C. Mang, L. Hui, S. Shengnan, W. Yu, Y. Quan // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. – 2017. – № 15 (3). – Pp. 226-234. – Mode of access: [DOI: 10.1080/15459624.2017.1411598](https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1411598).
6. Боровский Е. Новые датчики газа фирмы Figaro / Е. Боровский // *Компоненты и технологии*. – 2015. – № 1. – С. 122-124.
7. Barret L.W. Aerosol Loading Performance of Electret Filter Media / L.W. Barret, A.D. Rousseau // *American Industrial Hygiene Association Journal*. – 2010. – № 59 (8). – Pp. 532-539. – Mode of access: [DOI: 10.1080/15428119891010703](https://doi.org/10.1080/15428119891010703).
8. Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner / L. Kovacs, A. Zimmermann, G. Brockmann, M. Gühring, H. Baurecht, N.A. Papadopoulos, K. Schwenzer-Zimmerer,

- R. Sader, E. Biemer, H.F. Zeilhofer // *Journal of Plastic Reconstructive & Aesthetic Surgery*. – 2006. – № 59 (11). – Pp. 1193-1202. – Mode of access: DOI: [10.1016/j.bjps.2005.10.025](https://doi.org/10.1016/j.bjps.2005.10.025).
9. СОУ МНС 75.2-00013528-002:2010. Стандарт МНС України. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Фільтрувальні засоби індивідуального захисту органів дихання населення у надзвичайних ситуаціях. Класифікація й загальні технічні вимоги. – Введ. 2010-03-15. – К. : МНС, 2010. – 15 с.
 10. Designing an improved respirator for automotive painters / A.M.J.A. Gutierrez, M.D. Galang, R.R. Seva, M.C. Lu, D. Rose, S. Ty // *International Journal of Industrial Ergonomics*. – 2014. – № 44 (1). – Pp. 131-139. – Mode of access: DOI: [10.1016/j.ergon.2013.11.004](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.11.004).
 11. Product design enhancement using apparent usability and affective quality / R.R. Seva, K. Grace, T. Gosiaco, M.C. Eurice, D. Santos, D.M.L. Pangilinan // *Applied Ergonomics*. – 2011. – № 42 (3). – Pp. 511-517. – Mode of access: DOI: [10.1016/j.apergo.2010.09.009](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.09.009).
 12. Кириллов В.Ф. О средствах индивидуальной защиты органов дыхания работающих (обзор литературы) / В.Ф. Кириллов, А.А. Бучнев, А.В. Чиркин // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2013. – № 4. – С. 25-31. – Mode of access: DOI: [10.17686/sced_rusnauka_2013-1033](https://doi.org/10.17686/sced_rusnauka_2013-1033).
 13. UL 2034. Standard for Single and Multiple Station Carbon Monoxide Alarms. – Publ. 2017-03-01. – Underwriters Laboratories, 2017. – Mode of access: <https://standardscatalog.ul.com/ProductDetail.aspx?productId=UL2034>.
 14. ДСТУ EN 50291-1:2015 (EN 50291-1:2010, IDT). Сигналізатори оксиду вуглецю для житлових споруд. Частина 1. Методи випробування та технічні вимоги. – Введ. 2016-01-01. – К. : Держстандарт України, 2016. – 23 с.
 15. Попов С.А. Физические аспекты применения лопастей обратной стреловидности на осевых вентиляторах / С.А. Попов, М.Х. Ву, Ю.А. Рыжов // *Электронный журнал «Труды МАИ»*. – 2013. – № 64. – С. 1-24.
 16. Кремлёвский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – СПб. : Политехника, 2002. – 409 с.
 17. Лепявко А.П. Расходомеры и счетчики жидкости и газа. Поверка и калибровка : учебное пособие. – М. : АСМС, 2005. – 102 с.
 18. Бошняк Л.Л. Тахометрические расходомеры / Л.Л. Бошняк, Л.Н. Бызов. – Л. : Машиностроение, 1968. – 212 с.
 19. Бобровников Г.Н. Теория и расчет турбинных расходомеров / Г.Н. Бобровников, Л.А. Камышев. – М. : Издательство стандартов, 1978. – 128 с.
 20. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Справочное руководство. / П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейник, М.Е. Трубицына. – СПб. : ГИИП Искусство России, 2002. – 400 с.
 21. ДСТУ EN 14378:2006. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри протигазові і фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування (EN 14387:2004, IDT). – Введ. 2007-10-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2005. – 14 с.
 22. ДСТУ EN 143:2003. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Протиаерозольні фільтри. Вимоги, випробування, маркування (EN 143:2000, IDT). – Введ. 2003-10-01. – Київ : Держспоживстандарт України, 2004. – 24 с.
 23. Адсорбция паров йода некоторыми адсорбентами. / В.Г. Колобродов, А.А. Саньков, Л.В. Карнацевич, П.А. Березняк, Э.И. Винокуров // *Вопросы атомной науки и техники*. – 2003. – № 6 (84). – С. 114-119. – (Серия : Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение).

References:

1. Tannahill S.N., Willey R.J., Jackson M.H. Workplace protection factors of HSE approved negative pressure full facepiece dust respirators during asbestos stripping: preliminary findings. *The Annals of Occupational Hygiene*, 1990, vol. 34, no 6, pp. 541-552. doi: [10.1093/annhyg/34.6.547](https://doi.org/10.1093/annhyg/34.6.547).
2. Wood G.O., Snyder J.L. Estimating Reusability of Organic Air-Purifying Respirator Cartridges. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2011, vol. 8, no. 10, pp. 609-617. doi: [10.1080/15459624.2011.606536](https://doi.org/10.1080/15459624.2011.606536).
3. Petrachkova N.M. Analiz effektivnosti sredstv individual'noy zashchity gornorabochikh v zimnikh usloviyakh [Analysis of the effectiveness of personal protective equipment for miners in win-]

- ter conditions]. *Nauchnyye issledovaniya i razrabotki molodykh uchenykh – Research and development of young scientists*, 2013, no. 1, pp. 106-109 (Rus.)
4. Gudkov S.V., Butler S.I., Putin S.B., Tarov V.P. *Izoliruyushchiye dykhatel'nyye apparaty i osnovy ikh proyektirovaniya: uchebnoye posobiye* [Isolating breathing apparatus and the basics of their design: textbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2008, 188 p. (Rus.)
 5. Mang C., Hui L., Shengnan S., Yu W., Quan Y. Customized design and 3D printing of face seal for an N95 Filtering Facepiece Respirator. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2017, vol. 15, no 3, pp. 226-234. doi: **10.1080/15459624.2017.1411598**.
 6. Borovskiy E. Novyye datchiki gaza firmy Figaro [New gas sensors from Figaro]. *Komponenty i tekhnologii – Components and technologies*, 2015, vol. 1, pp. 122-124. (Rus.)
 7. Barret L.W., Rousseau A.D. Aerosol Loading Performance of Electret Filter Media. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 2010, vol. 59, no 8, pp. 532-539. doi: **10.1080/15428119891010703**.
 8. Kovacs L., Zimmermann A., Brockmann G., Gühring M., Baurecht H., Papadopulos N.A., Schwenzer-Zimmerer K., Sader R., Biemer E., Zeilhofer H.F. Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner. *Journal of Plastic Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 2006, vol. 59, no 11, pp. 1193-1202. doi: **10.1016/j.bjps.2005.10.025**.
 9. *SOU MNS 75.2-00013528-002:2010. Bezpeka u nadzvychaynykh sytuatsiyakh. Fil'truval'ni zasoby indyvidual'noho zakhystu orhaniv dykhannya naseleennykh u nadzvychaynykh sytuatsiyakh. Klasyfikatsiya y zahal'ni tekhnichni vymohy* [Standard of the Ministry for Emergencies of Ukraine SME MEU 75.2-00013528-002: 2010. Emergency safety. Filter means of individual protection of respiratory organs of the population in emergency situations. Classification and general technical requirements]. Kiev, 2011. 15 p. (Ukr.)
 10. Gutierrez A.M.J.A., Galang M.D., Seva R.R., Lu M.C., Rose D., Ty S. Designing an improved respirator for automotive painters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2014, vol. 44, no 1, pp. 131-139. doi: **https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.11.004**.
 11. Seva R.R., Grace K., Gosiaco T., Eurice M.C., Santos D., Pangilinan D.M.L. Product design enhancement using apparent usability and affective quality. *Applied Ergonomics*, 2011, vol. 42, no. 3, pp. 511-517. doi: **10.1016/j.apergo.2010.09.009**.
 12. Kirilov V.F., Boutchnev A.A., Tchirkin A.V. O sredstvakh indyvidual'noy zashchity organov dykhaniya rabotayushchikh (obzor literatury) [On Individual protective means for workers' respiratory organs (review of literature)]. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya – Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*, 2013, no 4, pp. 25-31. doi: **10.17686/sced_rusnauka_2013-1033**. (Rus.)
 13. UL 2034. Standard for Single and Multiple Station Carbon Monoxide Alarms. Underwriters Laboratories, 2017. Available at: <https://standardscatalog.ul.com/ProductDetail.aspx?productId=UL2034>.
 14. *DSTU EN 50291-1:2015 (EN 50291-1:2010, IDT). Syhnalizatory oksydu vuhletsyu dlya zhytlovykh sporud. Chastyna 1. Metody vyprobuvannya ta tekhnichni vymohy* [State Standard EN 50291-1:2015 (EN 50291-1:2010, IDT). Carbon monoxide detectors for residential buildings. Part 1. Test methods and technical requirements]. Kiev, Derzhstandart Ukrayiny Publ., 2016. 23 p. (Ukr.)
 15. Popov S.A., Ryzhov Y.A., Man Hieu Vu. Fizicheskiye aspekty primeneniya lopastey obratnoy strelovidnosti na osevykh ventilyatorakh [Physical aspects of the use of reverse sweep blades on axial fans]. *Elektronnyy zhurnal «Trudy MAI» – Electronic journal «Trudy MAI»*, 2013, vol. 64, pp. 1-24. (Rus.)
 16. Kremlovskiy P.P. *Raskhodometry i schetchiki kolichestva: Spravochnik* [Flowmeters and counters of quantity: Handbook]. Sankt Peterburg, Politehnika Publ., 2002. 409 p. (Rus.)
 17. Lepyavko A.P. *Raskhodometry i schetchiki zhidkosti i gaza. Poverka i kalibrovka: Uchebnoye posobiye* [Flowmeters and meters for liquid and gas. Verification and Calibration: Tutorial]. Moscow, ASMS Publ., 2005. 102 p. (Rus.)
 18. Boshnyak L.L., Byzov L.N. *Takhometricheskiye raskhodometry* [Tachometric flow meters]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1968. 212 p. (Rus.)
 19. Bobrovnikov G.N., Kamyshev L.A. *Teoriya i raschet turbinnykh raskhodomerov* [Theory and calculation of turbine flow meters]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1978. 128 p. (Rus.)
 20. Basmanov P.I., Kaminsky S.L., Korobeinik A.V., Trubitsyn M.E. *Sredstva indyvidual'noy zash-*

- chity organov dykhaniya. Spravochnoye rukovodstvo* [Personal respiratory protection. Reference Guide]. Sankt Peterburg, GIIP Art of Russia Publ., 2002. 400 p. (Rus.)
21. *DSTU EN 14378:2006 (EN 14387:2004, IDT). Zasoby indyvidual'noho zakhystu orhaniv dykhannya. Fil'try proty hazovi i fil'try skombinovani. Vymohy, vyprobuvannya, markuvannya* [State Standart EN 14387:2004 (EN 14387:2004, IDT). Respiratory protection. Gas filters and filters are combined. Requirements, tests, markings]. Kiev, Derzhspozhyvstandart Ukrayiny Publ., 2005. 14 p. (Ukr.)
22. *DSTU EN 143:2003 (EN 143:2000, IDT). Zasoby indyvidual'noho zakhystu orhaniv dykhannya. Protyaerazol'ni fil'try. Vymohy, vyprobuvannya, markuvannya* [State Standart EN 143:2003 (EN 143:2000, IDT). Respiratory protective devices. Antiaerosol filters. Requirements, tests, markings (EN 143: 2000, IDT)]. Kiev, Derzhspozhyvstandart Ukrayiny Publ., 2005. 24 p. (Ukr.)
23. Kolobrodov V.G., Sankov A.A., Karnatsevich L.V., Bereznyak P.A., Vinokurov E.I. Adsorbtsiya parov yoda nekotorymi adsorbentami [Iodine vapor adsorption by some adsorbents]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Fizika radiatsionnykh povrezhdeniy i radiatsionnoye materialovedeniye – Problems of atomic science and technology. Series: Physics of Radiation Effects and Radiation Materials Science*, 2003, vol. 6, no 84, pp. 1193-1202. (Rus.)

Рецензент: О.Є. Кружило

д-р техн. наук, старш. наук. співроб., Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці

Стаття надійшла 25.09.2020

УДК 622.235.6:622.234.57:622.807

doi: 10.31498/2225-6733.41.2020.226208

© Савельєв Д.В.¹, Столбченко О.В.², Чеберячко І.М.³

ОЦІНКА ВМІСТУ НАДМАЛИХ ЧАСТИНОК В ПРОДУКТАХ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД НАСИЧЕНИХ ПОВЕРХНЕВО- АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

Дрібнодисперсні фракції пилу, з розміром часток менше 3 мкм, утворюються в повітрі рудникової атмосфери під час вибуху, що є недопустимим по санітарним нормам умов праці робочих. З використанням рентгеноструктурного аналізу вивчено гранулометричний склад пилоподібних частинок пісковиків і вугілля, оброблених поверхнево-активними речовинами (ПАР). Зміна механізму руйнування вуглепородного масиву під дією ПАР сприяє зниженню концентрації пилу за рахунок швидкого осідання під дією сил гравітації.

Ключові слова: умови праці, дрібнодисперсний пил, рентгеноструктурний аналіз, поверхнево-активні речовини.

D.V. Saveliev, O.V. Stolbchenko, I.M. Cheberiyachko. Evaluation of the ultrafine particles content in the products of destruction of rocks saturated with surfactants. The paper considers the issue of reducing the fine fraction of dust (with a particle size of less than 3 microns), which is formed in the air of the mine atmosphere during drilling-and-blasting operations. These emissions form the working conditions of workers that are not

¹ канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-0738-3273, barm1907@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-2003-4382, elena_aot@ukr.net

³ канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-6193-5729, cheberiyachko.i.m@nmu.one