

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

УДК 614.896

**КЛІМОВ ДАНИЛ ГЕННАДІЙОВИЧ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ  
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ УМОВ НАДЗВИЧАЙНИХ  
СИТУАЦІЙ**

Спеціальність 263 – цивільна безпека  
Галузь знань 26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

20.06.2024  Д.Г. Клімов

Наукові керівники – Чеберячко Сергій Іванович  
доктор технічних наук, професор  
Хома Руслан Євгенійович  
доктор хімічних наук, професор

Дніпро – 2024

## АНОТАЦІЯ

Клімов Д. Г. Підвищення ефективності фільтрувальних засобів індивідуального захисту для умов надзвичайних ситуацій. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – цивільна безпека (26 – цивільна безпека) – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини МОН України, Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2024.

У дисертаційному дослідженні, що є завершеною науковою роботою, подано результати виконання актуального науково-прикладного завдання, що полягає в забезпеченні захисту органів дихання користувачів від кислих газів, зокрема діоксиду сірки, шляхом розробки нових хемосорбентів кислих газів та конструкції фільтрувального засобу індивідуального захисту органів дихання (далі – ЗІЗОД) з примусовою подачею повітря і можливістю автоматичного регулювання об'єму повітряного потоку у відповідності до характеру фізичного навантаження користувача. Причому засіб має діяти протягом усього терміну його експлуатації та підтримувати належний рівень захисних властивостей за допомогою постійного моніторингу ключових параметрів.

Проаналізовано літературні джерела з інформацією про кількість потенційно небезпечних об'єктів в Україні, шкідливі для здоров'я людини фактори в умовах настання надзвичайних ситуацій, а також відображено дані про джерела ураження цивільного населення та про відомі засоби індивідуального захисту. Досліджено наявні розробки цих засобів, стан процесів освоєння їхнього виробництва та впровадження, визначено особливості експлуатації фільтрувальних респіраторів, які застосовують під час евакуації людей із зон надзвичайних ситуацій.

Виявлено основні недоліки моторованих фільтрувальних ЗІЗОД, зокрема: низька ефективність вентилятора через значний опір потоку повітря, який виникає в повітропроводі через незначні розміри повітряних каналів; неефективна робота системи керування, коли в умовах різкого підвищення витрати повітря (понад 300 л/хв.), пов'язаної з виконанням важкої роботи, вентилятор вмикається із запізненням; низька всмоктувальна спроможність відцентрованого вентилятора, через що його використання неможливе в разі забруднення атмосфери декількома видами токсичних речовин.

Аби досягти заданих показників коефіцієнта захисту фільтрувальних засобів індивідуального використання (респіраторів), до відомого алгоритму в їх проектуванні було додано два кроки, які дозволяють проводити контроль захисних властивостей макетів ще на етапі їхньої розробки, а далі коригувати показники в разі відхилення від запланованих технічним завданням.

При цьому було з'ясовано, що значення коефіцієнта ізоляції маски підвищується за рахунок збільшення притискних зусиль обтюратора до обличчя користувача. Цього можна досягти не тільки шляхом рівномірного розподілу притискних зусиль і підвищення еластичності матеріалу обтюратора, а й шляхом виконання на ньому спеціальної роздільної смуги, яка ураховує особливості антропометричної будови обличчя.

Проведені заходи дають змогу обґрунтувати термін захисної дії протигазових і протипилових фільтрів, щоб уникнути отруєнь користувачів через потрапляння шкідливих аерозолів у підмасковий простір фільтрувального ЗІЗОД, одночасно запобігти надмірному фізичному виснаженню людини через зростання перепаду тиску на фільтрах.

Для досягнення цієї мети рекомендовано оснащувати засоби захисту спеціальними індикаторами визначення забруднення повітря та величини перепаду тиску, а заради підвищення надійності захисту користувачів фільтрувальні засоби мають виконувати функції оперативного контролю опору диханню. Використання наголів'я забезпечує контроль виникнення можливих зазорів за смугою обтюрації під час проведення різних

виробничих операцій, що сприяє встановленню реального терміну захисної дії фільтрів.

У результаті моделювання засобами програмного середовища впливу вологості повітря на термін захисної дії протигазових фільтрів доведено, що найбільше кількість уловлюваних небезпечних аерозолів залежить від швидкості фільтрування та нерівномірності завантаження адсорбера на площину фільтра через різницю розмірів його вхідного і вихідного отворів. Останні запропоновано зменшити, встановивши в них решітки різної конструкції відразу після вхідного отвору.

Сформулювавши й застосувавши теоретичні основи проектування респіраторів, було створено нову конструкцію фільтрувального ЗІОД, розрахованого на примусову подачу повітря. Конструкцію доповнено новим елементом – це блок контролю параметрів повітряного потоку (об'єму, швидкості, температури, вологості), який надходить у підмасковий простір респіратора аби забезпечити достатній об'єм повітря. Блок здійснює керування кількістю обертів вентилятора у заданому діапазоні, яка залежить від частоти та глибини дихання користувача під впливом фізичного навантаження.

Основою розробки конструкції моторованого респіратора стало обґрунтування вибору його складових: хемосорбентів кислих газів пролонгованої дії; типу маски, яка прилягає до обличчя користувача з потрібною щільністю та при цьому безпечна й комфортна; вентилятора, який подає необхідну кількість повітря в підмасковий простір з урахуванням опору фільтрів і ємності акумулятора. Функція кожного елемента респіратора має сприяти дотриманню заданого терміну роботоздатності системи, що відповідає четвертому кроку алгоритму створення засобів індивідуального захисту органів дихання, а саме контролю їхніх захисних властивостей під час розробки макета.

За результатами моделювання руху повітря через блок очищення респіратора було встановлено, що об'єм повітряного потоку, який потрапляє

в підмасковий простір, лінійно залежить від частоти обертання крильчатки вентилятора, однак коли опір повітряного потоку через фільтри перевищить 7-7,5 мБар, то залежність стає нелінійною, як наслідок зміни характеру фізичного навантаження.

Розроблені імпортозамінюючі імпрегновані волокнисті хемосорбенти (ІВХС) забезпечують нормовані вимоги для протигазових фільтрів класу Е1 (діоксид сірки) та ІВХС кислих газів з візуальною індикацією “спрацювання” динамічної поглинальної ємності (ІВХС-І). Названі ІВХС та ІВХС-І впроваджено в практику та використовуються для виготовлення протигазових елементів ЗІЗОД.

Після проведення імітаційних лабораторних випробувань на предмет дослідження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів з примусовою подачею повітря було підтверджено, що середня величина коефіцієнта захисту випробуваних зразків коливається в межах від 99,93 до 99,97, що відповідає вимогам стандарту.

Визначено, що витрата повітря під час експлуатації чистих фільтрів становить 165 і 215 дм<sup>3</sup>/хв відповідно до режимів роботи «Норма» і «Турбо», а коли фільтри забруднені, то – 131 і 185 дм<sup>3</sup>/хв. Встановлено також, що надлишковий тиск у підмасковому просторі не перевищує 2,5 мбар, а це цілком відповідає вимогам ДСТУ EN 12941:2004.

Стосовно стабільності технічних показників пристрою очищення повітря, то вона перебуває в заданому діапазоні, коли заряд акумуляторної батареї марки «DinogyLi-Pol 11000mAh 14.8V 4S 25C не нижче 12 В, аби величина струму була не меншою 1,6 А.

У роботі досліджено вплив конструктивних параметрів фільтрувальної коробки респіратора на опір диханню і на тривалість захисної дії протигазових фільтрів насичених гранульованим активованим вугіллям. Було з'ясовано таку залежність: якщо маса сорбенту незмінна, то збільшення площі фільтра зумовлює істотне зниження опору диханню, тоді як

зменшення шару товщини сорбенту зумовлює зниження тривалості захисної дії фільтра.

Зазначено, що збільшення площі фільтра при однакових розмірах вихідного отвору фільтрувальної коробки і клапана видиху, призводить до нерівномірного розподілу швидкості фільтрації та відпрацювання окремих ділянок цього фільтра. Найбільше навантаження під час процесу сорбції (поглинання) шкідливих газів зазнає ділянка фільтра навпроти вихідного отвору. При цьому, чим більша сумірність діаметра фільтра з діаметром вихідного отвору, тим більша тривалість захисної дії, якщо товщина шару сорбенту однакова. За умови рівномірної швидкості фільтрації можна визначити час захисної дії фільтра з гранулами активованого вугілля скориставшись рівнянням (3). Результати проведених досліджень являють собою дані для проектування респіраторів, що відповідають конкретним вимогам експлуатації.

**Наукова новизна** результатів роботи зосереджується в описаних нижче аспектах досліджень:

*1. Було удосконалено:*

- методичні підходи до розробки моторованих респіраторів ключовим моментом якої було моделювання руху повітря через блок очищення ЗІЗОД, що дозволяє виявляти і контролювати заданий об'єм повітряного потоку, який потрапляє в підмасковий простір пристрою до органів дихання користувача на підставі лінійної залежності від частоти обертання крильчатки вентилятора, коли опір потоку перебуває в діапазоні від 1 до 7-7,5 мБар;

- науково-методичний інструментарій для визначення конструктивних параметрів фільтрувальної коробки респіратору, де було застосовано гранульоване активоване вугілля, на основі забезпечення рівномірного розподілу маси сорбенту з урахуванням вологості повітря і швидкості фільтрування;

- імітаційну модель, яка дає можливість розрахувати термін захисної дії протигазових фільтрів від впливу діоксиду сірки, а також дозволяє уникнути як отруєнь користувачів через потрапляння шкідливих аерозолів у підмасковий простір, так і збільшення опору диханню через накопичення зайвої вологи у фільтрі, з урахуванням концентрації токсичної речовини й температури навколишнього середовища.

*2. Набув подальшого розвитку:*

- підхід до розробки та проектування нових конструкцій фільтрувальних моторованих респіраторів, в основі якого був обґрунтований підбір типів складових частин цих засобів, а саме: маски, яка забезпечує потрібну щільність прилягання до обличчя користувача та характеризується відповідним рівнем безпечності й комфорту; вентилятора, здатного подавати необхідну кількість повітря в підмасковий простір на основі даних про опір фільтрів та ємність акумулятора для підтримки працездатності системи впродовж заданого терміну експлуатації.

**Практичне значення** виконаного дослідження полягає у розробленні удосконаленої конструкції фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря, де, на відміну від відомих засобів, у пристрій очищення повітря введено змонтований між блоком керування та блоком живлення через стабілізатор напруги, спеціальний блок контролю параметрів повітряного потоку. До того ж засіб обладнано багатофункціональною системою датчиків, встановлених в його корпусі, завдяки чому відбувається регулювання основних параметрів повітряного потоку в підмасковому просторі. Практичної ваги набуває ідея вдосконалення алгоритму проектування засобів індивідуального захисту органів дихання шляхом його доповнення додатковим етапом контролю захисних властивостей елементів конструкції респіратора ще в процесі розробки його макету. Також були відпрацьовані різні режими роботи моторованого респіратора задля того, аби контролювати об'єм та якість очищеного повітря, яке вдихає користувач з урахуванням частоти й глибини його дихання в умовах фізичного

навантаження. При цьому ретельно досліджено захисні властивості фільтрувальних елементів пристрою. Запропоновано склади водних розчинів з використанням таурату калію та моноетаноламіну для отримання ІВХС кислих газів; ІВХС кислих газів з пасивною індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності (ІВХС-І). Застосування ІВХС-І дозволило своєчасно візуально визначати момент “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності ПГЕ ЗІЗОД, а отже, нормування їх використання. Названі хемосорбенти задіяно в протигазових й газопилозахисних респіраторах «КЛЕН» та «ШАХТАР», які виготовляються Дослідним виробництвом ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України (м. Одеса).

Пріоритет і новизна запропонованих технічних рішень та їх практичне значення підтверджено трьома патентами України на корисну модель.

**Ключові слова:** респіратор, протигазовий елемент, наголів'я, півмаска, каркас, коефіцієнт захисту, коефіцієнт підсмоктування, щільність прилягання, діоксид сірки.

## SUMMARY

Klimov D.G. Increasing the efficiency of filtering personal protective equipment for emergency situations. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 263 – civil security (26 – civil security) – Dnipro University of Technology, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2023.

The dissertation as the completed scientific work provides the solution of the urgent scientific and applied task, which consists in ensuring protection of workers' respiratory organs by developing a new design of a filtering respirator with forced air supply with the ability to automatically adjust the air flow volume in accordance with the nature of the user's physical activity throughout the entire service life while maintaining the proper level of protective properties of the device through constant monitoring of key parameters.



The analysis of literary data was carried in relation to the number of potentially disruptive facilities in Ukraine, hazardous factors for human health in the case of emergencies. The article provides data on the sources of civilians and existing personal protective equipment for their development, production mastering, introduction and exploitation features of filter respirators used in the evacuation of people from emergency zones.

It is shown that the main disadvantages of motorized filtering equipment are: low fan efficiency due to the significant resistance to air flow that occurs in the air duct due to the small size of the air ducts; inefficient operation of the control system causes the fan to turn on with a delay in cases of a sharp increase in air flow (more than 300 l/min) when performing heavy work; low suction capacity of the centrifugal fan, which does not allow its use in an atmosphere polluted by several hazardous substances.

Achieving the set indicators of the protection coefficient of filtering personal respiratory protection equipment (respirators) is ensured by adding two steps to the existing algorithm. It allows to control the protective properties of the models at the stage of their development with further corrective actions in case of their deviation from the planned indicators of the technical task.

It has been determined that the insulation coefficient of masks is improved by increasing the clamping force of the mask's face piece to the user's face. This is achieved by evenly distributing the clamping forces and increasing the elasticity of the face shield material, as well as adding a special dividing strip on the face shield that takes into account the peculiarities of the anthropometric structure of the face.

This makes it possible to justify the appropriate period of protective action of gas and dust filters and to avoid both poisoning of workers due to the ingress of harmful aerosols into the undermask space of the filter respirator and excessive physical exhaustion due to an increase in pressure drop beyond the normalized substances by equipping filters with special indicators for determining air pollution and the value of the pressure drop. Also, to improve the reliability of employee protection, filter respirators are equipped with functions for controlling of

breathing resistance, headband placement to control possible clearances behind the obturating line during various production processes and to set the actual period of protective effect of the filters.

As a result of modeling the effect of air humidity on the protective effect period of gas filters, it was found that in the appropriate software environment, the greatest impact on the amount of hazardous aerosols captured depends on the filtering capacity and the uneven distribution of the adsorbent over the filter area due to the difference in the inlet and outlet openings. It is proposed to reduce this effect by using different designs of grids that are placed right after the inlet.

Based on the proposed theoretical foundations of respirator design, a new construction of a filtering respirator with forced air supply has been developed, in which a new element has been introduced - a unit for controlling air flow parameters (volume, speed, temperature, humidity), which enters the undermask space to provide the required volume of air to the undermask space of the filtering respirator by controlling the number of fan revolutions in a given range, taking into account the user's breathing frequency and depth, depending on physical activity.

The basis for the development of the design of the motorized respirator was the justification for the choice of its components: a mask that provides an appropriate fit to the user's face and is characterized by an appropriate level of safety and comfort; a fan to ensure the supply of the required amount of air to the undermask space, taking into account the resistance of the filters and battery capacity to maintain the system's performance in a given period in accordance with the fourth step of the algorithm for the development of personal respiratory protection means - control of the protective properties of the respirator construction elements at the stage of model engineering.

As a result of modeling the air flow through the respirator cleaning unit, it was found that the volume of air flow entering the undermask space to the respiratory organs of the user depends linearly on the fan impeller speed. However, when the resistance to air flow through the filters reaches more than 7-7.5 mBar,

the dependence becomes nonlinear, which is connected with a change in the nature of physical activity.

Based on the simulation laboratory tests to determine the protective effectiveness of filtering respirators with forced air supply, it was found that the average result of the protection factor of the tested samples ranged from 99.93 to 99.97, which meets the standard requirements.

It was determined that the air flow rate is maintained for clean filters at 165 and 215 dm<sup>3</sup>/min for the "Normal" and "Turbo" operating modes, and for contaminated filters - 131 and 185 dm<sup>3</sup>/min. It was found that the overpressure in the undermask space does not exceed 2.5 mbar, which fully meets the requirements of DSTU EN 12941:2004.

It was defined that the stability of the technical indicators of the air purification device is maintained within a given range when charging the Dinogy Li-Pol 11000mAh 14.8V 4S 25C battery at least 12 V to ensure a current value of more than 1.6 A.

The influence of the design parameters of the filter box on the breathing resistance and the time of protective action of the gas filter saturated with granular activated carbon was studied. This made it possible to establish the fact that, at a constant sorbent mass, an increase in the filter area significantly reduces breathing resistance, but a reduction in the sorbent thickness leads to a decrease in the time of the filter's protective effect.

It is shown that an increase in the filter area, with the same dimensions of the filter box outlet with an exhalation valve, leads to an uneven distribution of the filtration capacity and the depletion of filter sections. The greatest load on the sorption of harmful gases is in the area opposite the outlet. The larger the diameter of the filter is compared to the diameter of the outlet, the longer the protective action time for the same sorbent thickness. Under the condition of a uniform filtration rate, the time of protective action of the filter with activated carbon granules can be determined by the obtained equation (3), which allows to design respirators that meet specific requirements.

**The scientific novelty** of the obtained results is as follows:

*improved:*

- methodological approaches to the development of motorized respirators based on modeling the air movement through the purification unit, which allows detecting and controlling a given volume of air flow entering the undermask space to the user's respiratory organs based on a linear dependence on the fan impeller speed, which is in the range from 1 to 7-7.5 mBar;

- scientific and methodological tools for developing the design parameters of a filter box with granular activated carbon, based on ensuring a balanced distribution of the sorbent mass, taking into account air humidity and filtration capacity;

- a simulation model for calculating the protective action period of ammonia gas filters and avoiding both poisoning of workers due to the ingress of harmful aerosols into the undermask space and an increase in breathing resistance due to the accumulation of excess humidity in the filter, taking into account the concentration of the harmful substance and the ambient temperature.

*further developed:*

- an approach to the development and design of new constructions of filtering motorized respirators based on the justification of the choice of its components: a mask that provides an appropriate fit to the user's face and is characterized by an appropriate level of safety and comfort; a fan to ensure the supply of the required amount of air to the undermask space, taking into account the resistance of the filters and the battery capacity to maintain the system's operation for a specified exploitation period.

**The practical significance** is in the development of an improved construction of a filtering respirator with forced air supply, which differs from the known ones in that the air purification device includes a control unit for monitoring air flow parameters, connected between the control unit and through the voltage regulator with the power supply unit, and a multifunctional system of sensors installed in the device housing, with the ability to regulate the main parameters of

air flow in the undermask space. In addition, ways to improve the algorithm for designing personal respiratory protection equipment by adding an additional step to control the protective properties of respirator construction elements at the stage of model engineering are proposed. Also, the modes of operation of the motorized respirator have been developed which allow controlling the volume and quality of the inhaled purified air, taking into account the frequency and depth of the user's breathing during physical activity, as well as the protective properties of the filter elements of the device.

The priority and novelty of the proposed technical solutions and their practical significance have been confirmed by three utility model patents of Ukraine.

**Key words:** respirator, gas mask element, headband, half mask, frame, protection factor, suction factor, tightness of fit, sulfur dioxide.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Статті в наукових фахових виданнях:*

1. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Радчук Д.І., Столбченко О.В., Клімов В.Г. Дослідження ізольованих властивостей півмасок респіратора. *Геотехнічна механіка*. 2019. № 149. С. 223–232. DOI: 10.15407/geotm2019.149.223

2. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Дерюгін О.В., Славінський Д.В., Клімов В.Г. Фільтрувальний респіратор з примусовою подачею повітря. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 41. С. 155–171. DOI: 10.31498/2225-6733.41.2020.226205.

3. Borodina N., Cheberyachko S., Cheberyachko Yu., Deryugin O., Radchuk D., Klimov D. Study of protective efficiency of respirator with forced air suppl. *Journal of scientific papers "Social development and security*. 2020. Vol. 10, N 6.P. 192-201. DOI: 10.33445/sds.2020.10.6.18.

4. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Радчук Д.І., Дерюгін О.В., Клімов Д.Г., Шароватова О.П., Грідяєв В.В. Засоби індивідуального захисту органів дихання: інновації щодо зниження ризику професійних захворювань. *Комунальне господарство міст*. 2023. Т. 1, № 175. С. 221–228. <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6100/6017>

5. Хома Р.Є., Беньковська Т.С., Гельмбольдт В.О., Клімов Д.Г., Горліченко М.Г. Склад та відносна стійкість продуктів взаємодії оксиду сірки (IV) з водними розчинами таурату калію та моноетаноламонію. Хемосорбент пролонгованої дії. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2023. Т. 28. № 3. С. 35–52. DOI: 10.18524/2304-0947.2023.3(86).297810

6. Khoma R.E., Vodzinskii S.V., Klimov D.G. Impregnated activated carbon materials for respiratory purposes. I. Chemisorption of sulfur dioxide. *Укр. хім. журн*. 2023. Т. 89, № 10. С. 124–144. DOI: 10.33609/2708-129X.89.10.2023.124-144

*Статті у виданнях включених до бази SCOPUS:*

7. Cheberiachko S.I., Yavorska O.O., Klimov D.H., Yavorskyi A.V. Effect

of filtering box parameters on the protective action of gas filters. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. N 2. P. 89–95. DOI: 10.33271/nvngu/2020-2/089

*Статті у міжнародних журналах*

8. Cheberyachko S., Deryugin O., Tretyak O., Pustovoi D. New Powered Air Respirator. *Significances Bioeng. Biosci.* 2021. Vol. 4, N 4. P. 400–403. DOI: 10.31031/SBB.2021.04.000594

*Матеріали наукових конференцій:*

9. Клімов В.Г., Книш І.М., Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І. Щодо оцінки методу індивідуального підбору фільтрувальної півмаски до користувачів. XIV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів. “Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності”. Харків, 2019. С. 286-287.

10. Чеберячко С.І., Клімов В.Г. Проектування фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання. “Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи”: наук.-техн. Зб. Матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 4-5 червня 2019 р. С. 328-334.

11. Славінський Д.В., Клімов Д.Г., Чеберячко Ю.І. Удосконалення роботи моторизованого фільтрувального ЗІЗОД. *Міжнародний форум “Безпечна, комфортна, спроможна, територіальна громада – 2023”:* матеріали міжнар. конф. Дніпро, 11–13 жовтня 2023 р. Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. С. 150–151.

*Статті у інших виданнях*

12. Голінько В.І., Чеберячко С.І., Клімов В.Г. Про проблеми застосування евакуаційних апаратів (частина 1). *Охорона праці і пожежна безпека*. 2019. № 1. С. 38–42.

13. Голінько В.І., Чеберячко С.І., Клімов В.Г. Про проблеми застосування евакуаційних апаратів (частина 2). *Охорона праці і пожежна безпека*. 2019. № 2. С. 50–55.

*Патенти*

14. Патент України на корисну модель UA147372, МПК А62В 23/00 А62В 18/00. Фільтрувальний дихальний апарат з примусовою подачею повітря. В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, О.В. Дерюгін, Д.В. Славінський, Д.І. Радчук, В.Г. Клімов. НТУ «Дніпровська політехніка» № u202006362; заявл. 01.10.2020; опубл. 05.05.2021. Бюл. № 18.

15. Патент України на корисну модель UA140878, МПК А62В 7/10. Протипиловий респіратор. Д.Г. Клімов, В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, О.В. Дерюгін. НТУ «Дніпровська політехніка». № u201909406; заявл. 15.08.2019; опубл. 10.03.2020. Бюл. № 5.

16. Патент України на корисну модель UA156209, МПК В 01D 39/00. Спосіб отримання хемосорбційного матеріалу. Р.Є. Хома, Ю.С. Захаренко, Д.Г. Клімов, Ю.В. Ішков, С.В. Водзінський. ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України. № u202305658; заявл. 24.11.2023; опубл. 22.05.2024. Бюл. № 21.



## ЗМІСТ

<b>Терміни та визначення</b>	20
<b>Вступ</b>	21
<b>Розділ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ</b>	29
<b>ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	
1.1 Аналіз впливу вражаючих чинників надзвичайних ситуацій на здоров'я цивільного населення	29
1.2 Вимоги до засобів індивідуального захисту органів дихання в умовах надзвичайних ситуацій	34
1.3 Імпрегновані волокнисті хемосорбенти діоксиду сірки, призначені для виготовлення протигазових елементів ЗІЗОД	36
1.4 Аналіз конструкцій існуючих фільтруючих та ізолювальних засобів індивідуального захисту органів дихання	42
1.5 Особливості використання саморятівників з моторовими повітрянагнітальними фільтруючими пристроями	56
1.6 Аналіз власних ризиків моторованих ЗІЗОД	59
1.7 Мета та завдання досліджень	63
Література за розділом 1	66
<b>Розділ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ</b>	77
<b>ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ</b>	
2.1 Загальні принципи створення нових засобів індивідуального захисту органів дихання	77
2.2 Забезпечення ізолювання органів дихання масками від навколишнього середовища	89
2.3 Інноваційні рішення щодо збільшення коефіцієнту захисту засобів індивідуального захисту органів дихання	93
2.4 Розробка наукових засад створення протигазових фільтрів для уловлювання АХНР інгаляційної дії	100

	18
Висновки за розділом 2	110
Література до розділу 2	112
<b>Розділ 3. РОЗРОБКА ІМПРЕГНОВАНОГО</b>	<b>116</b>
<b>ВОЛОКНИСТОГО ХЕМОСОРБЕНТУ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ</b>	
<b>НОРМОВАНІ ВИМОГИ ДЛЯ ПРОТИГАЗОВИХ ФІЛЬТРІВ</b>	
<b>КЛАСУ E1 (ДІОКСИД СІРКИ) ДЛЯ СПОРЯДЖЕННЯ ЗІЗОД</b>	
3.1 Дослідження хімічних аспектів процесів хемосорбції діоксиду сірки водними розчинами тауратів калію та моноетаноламонію	116
3.2 Розробка хемосорбентів пролонгованої дії	126
3.3 Розробка ІВХС з пасивною індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності	128
Висновки за розділом 3	131
Література до розділу 3	132
<b>Розділ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЗІЗОД З</b>	<b>136</b>
<b>ПРИМУСОВОЮ ПОДАЧЕЮ ПОВІТРЯ</b>	
4.1 Розробка конструкції фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря	136
4.2 Обґрунтування вибору захисної маски	147
4.3 Обґрунтування вибору вентилятора для пристрою очищення повітря	152
4.4 Обґрунтування вибору акумуляторів для забезпечення працездатності пристрою очищення повітря	154
4.5 Розробка блоку контролю фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря	156
Висновки за розділом 4	163
Література до розділу 4	164
<b>Розділ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ</b>	<b>170</b>
<b>ЗІЗОД З ПРИМУСОВОЮ ПОДАЧЕЮ ПОВІТРЯ</b>	
5.1 Лабораторні випробування працездатності блоку керування фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря	170

	19
5.2 Експериментальні дослідження впливу розмірів фільтрувальної коробки на термін захисної дії протигазових фільтрів	174
5.3 Лабораторні дослідження захисної ефективності фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря	182
Висновки за розділом 5	191
Література до розділу 5	193
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	196
<b>Додаток А. Протокол випробувань моторованого респіратора</b>	200

## Терміни і визначення

**Засіб індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД)** – пристрій, призначений для захисту органів дихання людини від дії токсичних речовин різного походження.

**Фільтрувальні засоби індивідуального захисту органів дихання** – пристрій, який використовуються тільки тоді, коли вміст кисню в навколишньому повітрі  $\geq 17\%$  (за об'ємом) та за умови обмеження вмісту відомих шкідливих газоподібних домішок. Застосування цих ЗІЗОД заборонено у важкодоступних та погано провітрюваних об'єктах малого об'єму (цистернах, колодязях, трубопроводах, печах тощо).

**Фільтр** – пристрій, призначений для вилучання зі вдихуваного повітря токсичних аеродисперсних частинок або/і газів та парів.

**Опір диханню** – протидія потоку повітря під час його вдихання (опір вдиху) або видихання (опір видиху) повітря, що створює респіратор або його складові (фільтр(и), клапани вдиху і видиху). Одиниці виміру опору – Па або мбар (1 мбар = 100 Па).

**Коефіцієнт підсмоктування** упродовж смуги обтюрації – відношення кількості атмосферного повітря, яке проникає крізь нещільності, що утворюються між обличчям і обтюратором, до кількості вдихуваного повітря (розраховується у відсотках).

**Коефіцієнт проникнення** – відношення кількості атмосферного повітря, яке оминаючи фільтрувальну півмаску або фільтри надходить під час дихання в підмасковий простір крізь нещільності по смузі обтюрації та негерметичності вузлів клапанів вдиху/видиху до загальної кількості вдихуваного повітря (розраховується у відсотках).

**Наголовний гарнітур (наголів'я)** – засіб прилаштування півмаски на обличчі та утримання її в робочому стані.

**Одноразове використання** – термін, який означає, що ЗІЗОД або фільтр підлягає заміні після однократного використання.

## ВСТУП

Вразливим місцем у пристроях індивідуального захисту органів дихання з натуральною подачею повітря є висока ймовірність проникнення забруднень через щілини між маскою та обличчям користувача, що можна пояснити появою розрідження в підмасковому просторі під час дихання. Щілини з'являються через антропометричні особливості обличчя, рухи голови, внаслідок слабкого утримання наголів'я та з інших причин. Вважається, що в названих типах захисних пристроїв просочення забруднень в підмасковий простір може сягати до 20% від загального об'єму вдихуваного повітря [1]. Крім того, коли постійно зростають вимоги до захисту органів дихання користувачів від шкідливих забруднень, виникає нагальна потреба в посиленні контролю захисних властивостей таких пристроїв під час їхнього використання. Це повною мірою стосується сучасних ЗІЗОД з примусовою подачею повітря.

Складна конструкція такого респіратора потребує постійного моніторингу ефективності роботи нагнітального вентилятора через виникнення значного опору потоку повітря. Цей опір виникає в повітропроводі через невеликі розміри повітряних каналів. Необхідність роботи вентилятора на підвищених обертах створює значний шум і призводить до швидкого розрядження акумулятора. Більше того, несправна робота системи керування фільтрувальним респіратором може бути причиною вмикання вентилятора із запізненням, особливо в умовах різкого збільшення витрати повітря (понад 300 л/хв.) під час виконання користувачем важкої роботи. В описаній ситуації в підмасковому просторі може виникати від'ємний тиск, що потенційно зумовить проникнення нефільтрованого повітря за смугу обтюрації та збільшить концентрацію вуглекислого газу. Крім того, з огляду на обмежену витяжну спроможність відцентрованого вентилятора, його не можливо застосовувати в атмосфері, забрудненій кількома різними небезпечними речовинами, що вимагає установки кількох протигазових фільтрів послідовно. Усе перелічене

викликає необхідність розробки нової конструкції фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря.

**Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами.** До дисертаційної роботи увійшли результати досліджень, виконаних згідно з тематичними планами науково-дослідних робіт НТУ «Дніпровська політехніка» та Фізико-хімічного інституту захисту навколишнього середовища і людини МОН України та НАН України, на такі теми: «Ресурсозберігаюча геотехнологічна і гідродинамічна параметризація видобутку малопотужних запасів мінеральної сировини у техногенно навантаженому середовищі» (№ держреєстрації 0117U006753, 2017 р.); «Розробка універсальних засобів індивідуального захисту пролонгованої дії подвійного призначення» (№ ДР 0117U000376, 2017-2018 рр.). У цих дослідженнях автор брав участь як виконавець.

**Мета роботи і завдання досліджень.** Метою цього дослідження було визначено підвищення ефективності засобів індивідуального захисту в умовах надзвичайних ситуацій. У зв'язку з цим було заплановано розробку нового типу фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря та вбудованою системою автоматичного регулювання об'єму повітряного потоку. Передбачено, що ця система буде реагувати на зміну фізичного навантаження користувача, забезпечуючи йому оптимальний рівень захисту протягом заданого часу експлуатації. Ключові параметри пристрою підлягають постійному моніторингу, аби підтримувати надійність захисних функцій. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити декілька задач:

1. Провести аналіз теоретичних підходів до розрахунку тривалості захисної дії протигазових фільтрувальних елементів.

2. Удосконалити теоретичну модель для визначення терміну захисної дії протигазових фільтрів, з урахуванням впливу вологості повітря та швидкості фільтрації.

3. Розробити хемосорбент пролонгованої дії відповідно до класу і умов експлуатації.

4. Розробити нову конструкцію респіратора з примусовою подачею повітря та з автоматичним регулюванням об'єму підмаскового очищеного повітря заданої якості відповідно до режиму навантаження користувача, незалежно від наявності шкідливих речовин у повітрі робочої зони протягом усього терміну роботи, а також передбачити підтримання належного рівня захисних властивостей пристрою.

5. Провести експериментальну лабораторну перевірку ефективності роботи складових (опір диханню, коефіцієнт захисту, термін захисної дії) систем пристрою очищення повітря і захисних властивостей нового моторованого респіратора вцілому.

6. Скласти інструкцію для користувачів респіратора з примусовою подачею повітря, описавши відповідні режими роботи моторованого засобу.

**Об'єкт дослідження** – процеси уловлювання аерозольних частинок фільтруючими матеріалами у складі моторованих ЗІЗОД, хемосорбції діоксиду сірки імпрегнованими волкнистими хемосорбентами на основі моноетаноламіну та таурату калію.

**Предмет дослідження** – захисні параметри моторованих фільтрувальних респіраторів, що відповідають концепції універсальності і вимогам нормативних документів України.

**Основна ідея** роботи полягає в тому, аби поліпшити захист цивільного населення від впливу шкідливих речовин за рахунок встановлення закономірностей руху повітря через блок очищення моторованих ЗІЗОД, що дозволяє забезпечити контроль заданого об'єму повітряного потоку, який потрапляє в підмасковий простір пристрою до органів дихання, відповідно до режиму навантаження користувача, а також забезпечити підтримання належного рівня захисних властивостей пристрою.

**Методи дослідження.** У виконанні дисертаційної роботи було задіяно системно-структурний підхід для аналізу наукових праць провідних світових

учених щодо вимог нормативно-правових актів з охорони праці, державних стандартів, що регламентують застосування засобів індивідуального захисту органів дихання. Перевірку адекватності запропонованої математичної моделі дослідження здійснювали методами математичної статистики, а під час визначення результатів натурних експериментів задля встановлення основних показників роботи респіраторів, користувались сучасними вимірювальними методами, які відповідають чинним державним стандартам.

**Наукова новизна** результатів роботи зосереджується в описаних нижче аспектах досліджень:

1. Встановлені закономірності руху повітря через блок очищення ЗІЗОД, що дозволяє виявляти і контролювати заданий об'єм повітряного потоку, який потрапляє в підмасковий простір пристрою до органів дихання користувача, показано, що за опору потоку в діапазоні від 1 до 7,5 мБар залежність об'єму повітряного потоку і від частоти обертання крильчатки є лінійною.

2. Отримані математичні залежності для визначення конструктивних параметрів фільтруючої коробки респіратору з гранульованим активованим вугіллям при рівномірному розподілі маси сорбенту, що дозволяють врахувати вологість повітря і швидкість фільтрування.

3. Встановлені закономірності процесу хемосорбції діоксиду сірки водними розчинами тауратів калію та моноетаноламонію на основі яких розроблені імпрегновані волокнисті хемосорбенти пролонгованої дії з пасивною індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності, що дозволяє уникнути отруєнь користувачів через потрапляння шкідливих речовин у підмасковий простір.

4 Удосконалено конструкцію фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря шляхом введення блоку контролю параметрів повітряного потоку, який надходить у підмасковий простір фільтрувального ЗІЗОД, що



дає можливість змінювати режими подачі повітря в залежності від фізичного навантаження працівника.

**Практичне значення** виконаного дослідження полягає у розробленні удосконаленої конструкції фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря, де, на відміну від відомих засобів, у пристрій очищення повітря введено змонтований між блоком керування та блоком живлення через стабілізатор напруги, спеціальний блок контролю параметрів повітряного потоку. До того ж засіб обладнано багатофункціональною системою датчиків, встановлених в його корпусі, завдяки чому відбувається регулювання основних параметрів повітряного потоку в підмасковому просторі. Практичної ваги набуває ідея вдосконалення алгоритму проектування засобів індивідуального захисту органів дихання шляхом його доповнення додатковим етапом контролю захисних властивостей елементів конструкції респіратора ще в процесі розробки його макету. Також були відпрацьовані різні режими роботи моторованого респіратора задля того, аби контролювати об'єм та якість очищеного повітря, яке вдихає користувач з урахуванням частоти й глибини його дихання в умовах фізичного навантаження. При цьому було ретельно досліджено захисні властивості фільтрувальних елементів пристрою. Запропоновано склади водних розчинів з використанням таурату калію та моноетаноламіну для отримання ІВХС кислих газів; ІВХС кислих газів з пасивною індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності (ІВХС-І). Застосування ІВХС-І дозволило своєчасно візуально визначати момент “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності ПГЕ ЗІЗОД, а отже, нормування їх використання. Названі хемосорбенти задіяно в протигазових й газопилозахисних респіраторах «КЛЕН» та «ШАХТАР», які виготовляються Дослідним виробництвом ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України (м. Одеса).

**Упровадження результатів роботи.** Виробниче впровадження засобів індивідуального захисту органів дихання в Фізико-хімічному інституті захисту навколишнього середовища і людини МОН та НАН України, а також

у процесі виконання таких держбюджетних тем: «Розробка універсальних засобів індивідуального захисту пролонгованої дії подвійного призначення» (№ ДР 0117U000376, 2017–2018), «Наукові засади проектування і освоєння дослідного виробництва легких респіраторів подвійного призначення» (№ ДР 0122U000864, 2022–2023) та «Наукові засади створення гібридних волокнистих фільтрувальних матеріалів для засобів індивідуального та колективного захисту» (№ ДР 0124U000930, 2024–2026), у яких автор брав участь як виконавець. Результати роботи використано в підготовці навчального посібника «Проектування засобів колективного та індивідуального захисту працівників», призначеного для студентів вищих навчальних закладів, зокрема тих, що проходять підготовку на кафедрі охорони праці та цивільної безпеки НТУ «Дніпровська політехніка», а також під час виконання студентами кваліфікаційних робіт другого (магістерського) рівня вищої освіти.

**Обґрунтування і достовірність наукових положень, висновків рекомендацій** підтверджується коректністю постановки й вирішення задач та використанням достовірних вихідних даних, що відображають результати теоретичних і експериментальних досліджень; застосуванням сучасного, апробованого математичного апарату; обґрунтованим вибором загальних показників і критеріїв математичних моделей; збіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень з невизначеністю вимірювань, яка не перевищує 15 %; виконанням дослідно-конструктивних розробок півмасок та фільтрувальних коробок; досвідом практичного втілення ідей створення їхніх конструкцій; результатами експериментальних випробувань удосконалених конструкцій респіраторів, а також тих, що розроблені вперше; наявністю чіткого фізичного трактування отриманих результатів їхнього впровадження в практичну діяльність.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є самостійно виконаною науковою роботою, у якій викладено авторський підхід до обґрунтування конструкції моторованих фільтрувальних респіраторів, де було задіяно блок

контролю за параметрами повітряного потоку, який був вмонтований між блоком керування та блоком живлення через стабілізатор напруги. До того ж засіб обладнано багатофункціональною системою датчиків, встановлених в його корпусі, завдяки чому відбувається регулювання основних параметрів повітряного потоку в підмасковому просторі респіратора. Внесок автора в роботи, опубліковані у співавторстві, конкретизовано в списку публікацій, це зокрема встановлення закономірностей процесу проходження повітряного потоку через пористий фільтрувальний матеріал [1], які показують залежність перепаду тиску на фільтрах респіратора в умовах змінної швидкості фільтрування від об'єму й частоти дихання людини, а також від параметрів фільтру; складання рекомендацій щодо підбору фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання з огляду на кінцевий термін їхньої дії, коли спостерігається ускладнення дихання [2]; дослідження захисних і ергономічних властивостей нових конструкцій респіраторів [3]; розробка методу дослідження [4]; перевірка роботоздатності конструкції й уточнення взаємодії між елементами конструкції [5, 6].

**Апробація результатів роботи.** Основні наукові результати дисертаційної роботи було представлено під час таких заходів: V Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика» (13–15 вересня 2018, м. Херсон); VI міжнародна науково-практична конференція “Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика” (11–14 вересня 2019 м. Херсон); Геотехнічні проблеми розробки родовищ: Матеріали XIX міжнародної конференції молодих вчених (28 жовтня 2021, м. Дніпро); Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, спроможна, територіальна громада» (11–13 жовтня 2023, м. Дніпро).

**Публікації.** Усього за результатами дисертаційних досліджень опубліковано 17 робіт, серед яких: 1 – у міжнародному журналі з високим індексом цитування, 1 – у міжнародному журналі та 6 в фахових журналах,

3 – патенти України на корисну модель, 4 в тезах наукових конференцій і 2 в інших виданнях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списків використаних джерел (196) на 142 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 201 сторінок, у тому числі 52 рисунки та 41 таблиця.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **1.1 Аналіз впливу вражаючих чинників надзвичайних ситуацій на здоров'я цивільного населення**

Однією з основних місій системи цивільного захисту України є захист населення і територій від надзвичайних ситуацій (НС). Безпека під час таких ситуацій залежить від ефективності реагування системи на них, яка повинна відповідати рівню та характеру загроз [1-3]. У Державному реєстрі потенційно небезпечних об'єктів України міститься докладна інформація про понад 24 тисячі об'єктів, включаючи промислові підприємства, шахти, кар'єри, газо-, нафто- та продуктопроводи, гідротехнічні споруди, залізничні станції, мости, тунелі, місця зберігання небезпечних речовин тощо. Приблизно 10 тисяч з них вважаються об'єктами підвищеної небезпеки. Ця кількість потенційно небезпечних об'єктів постійно створює загрозу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру. У 2020 році спостерігалось зростання числа надзвичайних ситуацій, спричинених раптовим обвалом будівель та споруд, пожежами та вибухами, а також проблемами у системах забезпечення життєво важливих ресурсів. Однією з найбільших загроз для цивільного населення є пожежі. Це пояснюється функціонуванням українських хімічних, нафто- і газопереробних, коксохімічних, металургійних та машинобудівних підприємств, а також широкої мережі нафто-, газопроводів і діяльністю нафтових і газових промисловості, а також у вугільних шахтах та ін. Понад 80% пожеж мають соціальні причини, такі як недбале поводження з вогнем, паління, неправильна експлуатація електроприладів, опалювальних систем та необережне поводження дітей з вогнем.

Усі природні, техногенні і соціально-політичні НС (пожежі, аварії, катастрофи, терористичні акти тощо) супроводжуються виникненням зон з підвищеними температурами та викидами токсичних речовин в навколишнє середовище, що може стати причиною ураження органів дихання та шкіри людини [4]. Тому збереження здоров'я і працездатності населення в умовах НС та після ліквідації її наслідків – це завдання державної важливості, виконання якого передбачено у статті 26 Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні», з метою підвищення рівня захисту населення, території сільської ради від надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру виникає потреба у матеріально-технічному оснащенні підрозділів цивільного захисту ЗІЗ для використання під час евакуації із зони ураження та надання невідкладної допомоги потерпілим, а також створення оперативного матеріального резерву ДСНС України для ефективного реагування на наслідки НС.

На даний час більша частина населення, що не зайнята безпосередньо у сфері трудової діяльності (діти та підлітки, учні та студенти, непрацюючі пенсіонери, хронічні хворі та тимчасово непрацездатні громадяни) не враховується при створенні нормативної бази даних про потребу в ЗІЗОД. В результаті для цих категорій громадян не розробляються і не виробляються ЗІЗ адекватні віковим, фізіологічним і іншим їх особливостям, тобто значна частина цивільного населення України фактично залишається беззахисною [5].

Ступінь і характер порушення нормальної життєдіяльності організму (поразки) залежать від шляхів надходження шкідливих речовин до організму, особливостей механізмів токсичної дії, фазового стану, концентрації і тривалості її дії. До найбільш вразливих шляхів потрапляння токсичних речовин в організм людини належать органи дихання [6, 7].

В даний час не існує загальноприйнятої класифікації токсичних речовин, які є одними найнебезпечніших за механізмом токсичної дії. Проте

найбільшого поширення (з декількох існуючих) отримали клінічна і патогенетична класифікації [8].

Згідно з клінічною класифікацією токсичні речовини підрозділяють на шість груп:

I – речовини з переважно задушливим впливом;

II – речовини переважно загальноотруйної дії;

III – речовини, які мають задушливу та загальноотруйну дію;

IV – нейротропні отрути, що діють на генерацію, проведення і передачу нервового імпульсу;

V – речовини, які мають задушливу та нейротропну дію;

VI – метаболічні отрути.

У випадку патогенетичної класифікації токсичних речовин, яка найбільш конкретно відображає направленість токсичної дії на певні органи людини, їх підрозділяють на чотири групи:

I – нервові (нейротропні) отрути;

II – кров`яні отрути;

III – ферментні отрути;

IV – подразнюючі.

Хімічна небезпека токсикантів збільшується багатократно в разі теплової активізації процесів плавлення, випаровування і десорбції, коли внаслідок витоку або викиду токсичних речовин через руйнування або розгерметизацію технологічного обладнання, сховищ і комунікацій відбувається забруднення навколишнього середовища (при цьому збільшується вірогідність розповсюдження пожежі через займання диспергованих і/або газоподібних горючих речовин), а також коли одночасний викид шкідливих речовин та пожежа супроводжуються зменшенням вмісту кисню в повітрі, що суттєво впливає на період інтоксикації і супроводжується кисневою недостатністю органів та тканин (гіпоксія).

В табл. 1.1 представлені ГДК речовин, що утворюються при пожежі в результаті згоряння різних матеріалів, і характер та наслідки їх токсичної дії на людину.

Таблиця 1.1

**Реакції організму людини на дію токсичних речовин [9]**

Токсикант	ГДК <sub>сзз</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Матеріали, які при термічному розкладанні виділяють токсичні газоподібні речовини	Реакції організму людини
Монооксид вуглецю	1,0	Органічні матеріали штучного і природного походження	У крові утворюється карбокси-гемоглобін (HbCO): запаморочення, нудота, блювання, слабкість; ураження нервової та серцево-судинної систем; втрата свідомості, смерть
Ціанистий водень	0,01	Азотовмісні речовини: вовна, шовк, пінополіуретан, поліакрилонітрил	Головний біль, нудота, блювання, печіння в носі, сльозотеча, кашель, втрата свідомості, смерть
Діоксид азоту	0,04	Деревина, вовна, фетр, шкіра, льон, полістирол, ПВХ, полісульфон, гумові вироби	Бронхопневмонія, набряк легенів, киснева недостатність, ураження верхніх дихальних шляхів, смерть
Діоксид сірки	0,05	Сірковмісні матеріали	Бронхоспазм, зниження мукоциліарного кліренсу, підвищення чутливості повітряних шляхів, порушення дифузійної здатності легень
Сірководень	0,05	Сірковмісні матеріали	Загальнотоксична дія, подразнення очей і дихальних шляхів
Хлористий водень	0,2	ПВХ, деревина, ДСП, фанера, папір	Спазм дихальних шляхів, рясна сльозотеча, опік слизових оболонок, набряк легенів
Фтористий водень	0,05	Речовини, які містять фторовані вуглеводні	Виразки на слизових оболонках очей і верхніх дихальних шляхах, носові кровотечі, спазм гортані і бронхів, набряк легенів, ураження ЦНС
Аміак	0,04	Вовна, шовк, поліакрилонітрил, поліамід, поліуретан	Рясна сльозотеча, біль в очах, кашель, задуха, запаморочення, блювання, набряки голосових зв'язок і легенів
Акролеїн	0,03	Деревина, поліпропілен, папір, нафтопродукти	Кашель, блювання, болі в животі, синюшність губ, уповільнення пульсу, набряк легенів, втрата свідомості, можлива смерть



## Продовження таблиці 1.1

Фосген	Немає даних	ПВХ, хлорвмісні матеріали	Сльозоточивість, кашель, нудота, подразнення верхніх дихальних шляхів та очей, набряк легенів
Формальдегід	0,03	Деревина, ДСП, фанера, папір, нейлон	Має подразнюючу дію

Одним з найбільш токсичних газів, що утворюється при пожежі, є оксид вуглецю (II), який не має кольору, запаху, перевищує густину повітря в 1,25 разу, слабо розчиняється у воді та краще в органічних розчинниках. При надходженні CO в легені відбувається розчинення його в крові та взаємодія із гемоглобіном, причому утворюється карбоксигемоглобін (HbCO), нездатний для транспортування кисню [10]. Основні симптоми отруєння організму: нудота, блювота, запаморочення, ослаблення зору, втрата свідомості. Фізичні навантаження прискорюють ці процеси. Перші симптоми отруєння (головний біль, розширення судин шкіри) відзначаються при вмісті карбоксигемоглобіну 10 – 20 %, збільшення вмісту карбоксигемоглобіну до 40 % супроводжується ослабленням зору, запамороченням, нудотою, блювотою, а в деяких випадках – втратою свідомості. Летальна концентрація CO, за якою смерть людини настає протягом від 60 до 3 хвилин, знаходиться в межах 0,2 – 1% або 0,0023 – 0,0115 кг/м<sup>3</sup>.

До інших газоподібних сполук, які утворюються при пожежах і можуть стати причиною отруєння та навіть смерті, є токсичні кислі гази (діоксид вуглецю (IV), ціановодень, хлороводень, фтороводень, діоксид азоту, діоксид сірки, сірководень, оцтова кислота), основні гази (аміак), а також пари органічних сполук (акролеїн, формальдегід, ацетальдегід, ароматичні вуглеводні) та ін..

## **1.2 Вимоги до засобів індивідуального захисту органів дихання в умовах надзвичайних ситуацій**

Загалом до ЗІЗ відносять: засоби захисту голови (каска, шоломи, шапки, капелюхи, ковпаки), очей (окуляри), органів дихання (респіратори, протигази, саморятівники), тіла (захисні костюми, накидки), ніг (чоботи, ботфорти, калоші, боти, бахіли), захисні бактеріологічні засоби (миючі засоби, креми та мазі). Однак, для цивільного населення найважливішими є засоби індивідуального захисту органів дихання, необхідність використання яких для евакуації передбачена Правилами пожежної безпеки України (наказ Міністерства внутрішніх справ України № 1417 від 30 грудня 2014 р.) та Кодексом цивільного захисту України (від 02.10.2012 № 5403-VI) [11]. Узагальнюючи вимоги можна сказати, що обслуговуючий персонал будівель (готелі, кемпінги, гуртожитки, школи-інтернати, будинки для престарілих та інвалідів, дитячі будинки та інші будівлі за винятком житлових будинків) повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту. Зокрема відповідно до ДБН В В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків» висотні громадські будинки повинні бути оснащені засобами індивідуального захисту органів дихання для саморяткування людей під час пожежі. Кількість засобів індивідуального захисту органів дихання визначається розрахунком, який враховує середню кількість відвідувачів [12].

Засоби індивідуального захисту органів дихання для саморяткування людей під час пожежі (саморятівники) необхідно передбачати [13]:

- на робочих місцях, розташованих на висоті більше 26,5 м;
- у приміщеннях із масовим перебуванням людей;
- у готельних номерах;
- в об'єктових пунктах пожежогасіння 10 шт;
- у пожежобезпечних зонах згідно за розрахунком.

Робочі місця персоналу, що забезпечує евакуацію, необхідно оснащувати індивідуальними засобами захисту органів дихання для саморяткування людей під час пожежі, а також засобами локального захисту (ЗЛЗ) від підвищених теплових впливів.

З іншого боку відповідно до ДБН В.2.2-20:2008 Будинки і споруди. Готелі засоби індивідуального захисту для саморяткування потрібні [14]:

- у готельних номерах та приміщеннях для обслуговуючого персоналу,
- у готелях умовною висотою понад 26,5 м категорії 3\* і більше,
- у готелях категорії 4\* і вище незалежно від умовної висоти, слід влаштовувати шафи зберігання засобів індивідуального захисту органів дихання для саморяткування людей під час пожежі.

До того ж відповідно до Правил пожежної безпеки для навчальних закладів та установ системи освіти України, затверджених наказом Міністерства освіти і науки України 15.08.2016 № 974 у закладах та установах з цілодобовим перебуванням учнів/вихованців необхідно забезпечити фільтрувальними пристроями для саморяткування під час пожежі з розрахунку на максимальну кількість дітей.

Також існує три нормативних документи, які регламентують вибір усіх ЗІЗОД для користувачів підприємств в тому числі і для умов надзвичайних ситуацій – це:

- ДСТУ EN 529 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Рекомендації щодо вибору, використання».
- ДНАОП 0.00-1.04-07 «Правила вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання».
- СОУ 10.1.00174102-018:2011 «Система і технічні засоби саморяткування гірників. Вибір типу саморятівника і місць розташування засобів колективного захисту органів дихання в гірничих виробках».

Однак жодним стандартом не визначені ні тип, ні клас і марка саморятівників, які необхідно використовувати саме для порятунку цивільного населення.

Так ДСТУ EN 529 вказує, що рішення для вибору приймається на основі оцінки ризиків, але пояснень як її проводити нажаль не надає.

На відміну від вітчизняного законодавства в США в стандарті OSHA 29 CFR 1910.110 «Настанова щодо дотримання та рекомендації щодо керування безпекою процесів» вказується, що кожен працівник повинен бути захищений за допомогою трьох способів, які передбачають: стандартні виробничі процедури (SOP) для уникнення в тому числі і виникнення пожежі; додаткові системи захисту, якщо виникла аварійна ситуація; план реагування на надзвичайні ситуації з детальним описом процедури порятунку людей [15].

Від роботодавця вимагається провести детальний аналіз за методом process hazard analysis (PHA), де визначити ризики виникнення пожежі, викидів сильно отруйних речовин та екологічних небезпек, що дозволить зробити наступний крок – встановлення наслідків для здоров'я і життя та ранжування самого ризику за величиною якого приймається рішення вибору того чи іншого засобу індивідуального захисту органів дихання [16].

В умовах різного рівня НС необхідно, щоб ЗІЗ були адекватними рівню небезпеки. В протилежному випадку «надлишковий» захист призведе до надмірного фізіологічного навантаження користувача, а недостатній – до його ураження. Причому тим більшому, чим менше захисні можливості ЗІЗ відповідають реальному рівню небезпеки.

### **1.3 Імпрегновані волокнисті хемосорбенти діоксиду сірки, призначені для виготовлення протигазових елементів ЗІЗОД**

Підвищення рівня екологічної небезпеки в умовах воєнного стану пов'язане з руйнуванням або пошкодженням в результаті бойових дій

підприємств, які є найбільшими (реальними або потенційними) забруднювачами навколишнього середовища у мирний час [17]. Серед основних аварійних викидів в атмосферу підприємствами коксохімічного виробництва є діоксид сірки (розділ 1.1) [18-20].

Діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) II класу небезпеки ( $\text{ГДК}_{\text{р.з.}} = 10 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$ ,  $\text{ГДК}_{\text{сд}} = 0,05 \text{ мг/м}^3$ ) є одним з найбільш розповсюджених компонентів, що виділяються в атмосферу [21, 22]. Велика небезпека існує на підприємствах, де використовується  $\text{SO}_2$ , при виробництві сірчаної кислоти, триоксиду сірки, сульфатів, гідросульфатів і тіосульфатів [23]. Безпосереднє застосування діоксид сірки знаходить у паперовому та текстильному виробництвах, при консервуванні фруктів, ягід, для запобігання вин від скисання, для дезінфекції приміщень; рідкий  $\text{SO}_2$  застосовується як холодоагент та розчинник.

Однією з задач відділів охорони праці на перелічених підприємствах є забезпечення робочих та інженерно-технічного персоналу ЗІЗОД споряджених протигазовими елементами (ПГЕ), які здатні поглинати токсичні кислі гази (зокрема,  $\text{SO}_2$ ), в умовах НС, коли концентрація аварійно хімічно небезпечних речовин (АХНР) у повітрі невідома [24].

В роботах [24-33] подано результати досліджень співробітників ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України (м. Одеса), спрямованих на розробку доступних хемосорбентів кислих (зокрема,  $\text{SO}_2$ ) або/і основних (зокрема,  $\text{NH}_3$ ) газів і ЗІЗОД на їх основі, зокрема призначених для захисту органів дихання від АХНР інгаляційної дії; розглянуто питання щодо фізико-хімічних властивостей діоксиду сірки.

#### *Токсичність діоксиду сірки*

Діоксид сірки діє дратівливо на слизові оболонки дихальних шляхів та очей; більш високі концентрації викликають їх запалення, що виражається в кашлі, хрипоті, печіння та болі в горлі, грудях, сльозотечі, носових кровотечах. Вважають, що смерть настає від задуху, спазму голосової щілини. Відчутний поріг запаху  $\text{SO}_2$  –  $3 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$ . Роздратування в горлі

викликає концентрація  $20 - 30 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$ , подразнення очей –  $50 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$ , при  $60 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$  спостерігається сильне колоття в носі, чхання, кашель,  $120 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$  можна витримати лише 3 хвилини,  $300 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$  – лише 1 хвилину, смертельна концентрація –  $400 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$  при експозиції 0,5 – 1 год [34].

В даний час багато уваги приділяється детальному вивченню механізму дії  $\text{SO}_2$  на живі організми на клітинному рівні: розглядається його дія на поверхні та всередині. Показано, що діоксид сірки впливає на клітинні мембрани дріжджів та руйнує їхню структуру; він також діє всередині клітини, інгібуючи ензиматичні системи, і може мати мутагенну дію [35, 36].

Мутагенна дія  $\text{SO}_2$  надала підставу деяким дослідникам висловити думку, що стійкість, що набувається до нього організмами, є наслідком скоріше генетичних змін у хромосомах, ніж його фізіологічної дії [35]. Згідно з даними [35] інгібуюча активність іонізованих форм приблизно в 5-6 разів нижче, ніж молекулярного  $\text{SO}_2$ .

#### *Хемосорбенти діоксиду сірки для спорядження ЗІЗОД*

В якості волокнистих хемосорбентів кислих, основних і низки інших газів та парів традиційно використовуються іонообмінні волокнисті матеріали (ІВМ), хемосорбційні властивості яких забезпечуються наявністю в їх складі макромолекул хімічно активних груп різного характеру, що реагують з газо- та пароподібним компонентом-забруднювачем [29, 37, 38]. Нажаль, на території України ІВМ не виробляються, а їх вартість на міжнародному ринку постійно збільшується. Крім того, при виготовленні ІВМ використовують досить шкідливі сполуки, такі як епіхлоргідрин і диметилсульфат [38], що ускладнює можливість налаштування власного виробництва в силу низки причин екологічного характеру.

У зв'язку з цим співробітниками ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України (м. Одеса) було вжито заходів щодо розробки альтернативних імпортозамінюючих волокнистих хемосорбентів нового покоління з доступної і недорогої сировини вітчизняного виробництва – імпрегнованих волокнистих хемосорбентів (ІВХС) [27-33], які відрізняються від ІВМ тим,

що поглинання газу відбувається не активними групами, що хімічно входять до складу волокна, а реагентом, нанесеним на поверхню волокнистого носія.

З метою з'ясування принципової можливості збільшення поглинальної здатності ІВХС кислих газів на основі азотовмісних органічних основ – моноетаноламіну (МЕА) [39] та поліетиленполіаміну (РЕРА) [40] шляхом введення в просочувальні розчини промоутерів-модифікаторів (Prom) було проведено дослідження сорбції водяного пару і оксиду сірки (IV) [30] нетканим матеріалом на основі поліестерних синтетичних волокон, імпрегнованих водними розчинами МЕА та РЕРА (як модельних хемосорбентів), що містять наступні Prom: хлориди натрію (NaCl), калію (KCl) та літію (LiCl); йодид калію (KI); карбонати натрію і калію ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ); динатрієву сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти (EDTA); гліцин (Gly); формальдегід ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) та кротоновий альдегід ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}$ ) при різних співвідношеннях компонентів (див. табл. 1.2).

Дослідження хемосорбції  $\text{SO}_2$  проводили в статичному та динамічному режимах [39-52]. Дослідження хемосорбції  $\text{SO}_2$  в динамічному режимі проводили в умовах, наближених до реальної експлуатації ЗІЗОД: концентрація  $\text{SO}_2$  в газоповітряній суміші (ГПС) –  $150 \text{ мг/м}^3$  (15 ГДК) відносна вологість ГПС  $\varphi$  – 90 % (лінійна швидкість потоку ГПС –  $2,0 \text{ см/с}$ , об'ємна –  $0,001 \text{ м}^3/\text{хв}$ ). Захисну ефективність матеріалів оцінювали за часом їх захисної дії ( $\tau_{з.д.}$ , хв). Час захисної дії фіксували у той момент, коли концентрація  $\text{SO}_2$  за шаром досліджуваного матеріалу становила  $1\text{-}3 \text{ мг/м}^3$ . Динамічну активність (ДА, мг/г) розраховували наступним чином:

$$\text{ДА} = \frac{C \cdot V \cdot \tau_{з.д.}}{m}, \quad (1.1)$$

де  $C$  – концентрація  $\text{SO}_2$ ,  $\text{мг/м}^3$ ;  $V$  – об'єм на швидкість ГПС,  $\text{м}^3/\text{хв}$ ;  $m$  – маса дослідженого матеріалу, г.

Таблиця 1.2

## Характеристики та результати випробувань ІВХС кислих газів

№ з/п	Am	Prom	Вміст компонентів у просочуючому розчині, мас. %		$\tau_{з.д.}^*$ , хв	ДА*, мг(SO <sub>2</sub> )/г	Л-ра
			Am	Prom			
1.	MEA	-	5,0-15,0	-	67-127	6,2-18,5	[39]
2.	MEA	NaCl	0,25-15,0	0,25-5,0	90-1010	30,2-114,3	[41]
3.	MEA	Glycine	5,0-15,0	5,0-15,0	92-453	13,4-66,2	[42]
4.	MEA	CH <sub>2</sub> O	5,0-15,0	2,5-7,5	101-250	9,3-23,0	[43]
5.	MEA	EDTA	5,0-15,0	1,9-9,3	274-1025	56,0-173,0	[44]
6.	MEA	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,25-5,0	0,77-1,55	141-331	21,2-49,7	[52]
7.	MEA	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	5,0-15,0	2,0-5,0	139-331	12,8-30,5	[45]
8.	PEPA	-	1,0-10,0	-	75-595	25,5-86,6	[40]
9.	PEPA	LiCl	1,0	0,53	174	43,2	[30]
10.	PEPA	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,0	0,46	248	50,6	[30]
11.	PEPA	NaCl	1,0-4,3	0,86-3,45	256-437	87,3-130,5	[46]
12.	PEPA	KI	0,5-7,5	0,50-3,75	97-785	33,5-188,4	[47]
13.	PEPA	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,0-4,3	0,33-2,65	190-401	65,8-130,5	[48]
14.	PEPA	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,0-4,3	0,43-3,45	195-437	65,3-130,5	[49]
15.	PEPA	Glycine	5,0-10,0	13,0-18,0	420-773	62,5-112,3	[50]
16.	PEPA	EDTA	5,0-10,0	1,86-10,0	294-920	54,6-157,9	[51]

\*наведено діапазон значень

Згідно даним, наведеним в табл. 1.2, введення Prom до складу ІВХС-МЕА та ІВХС-РЕРА призводить до істотного збільшення значень  $\tau_{з.д.}$  і, відповідно, ДА отриманих зразків при поглинанні SO<sub>2</sub>. Цей ефект з точки зору авторів [30] можна пояснити значним збільшенням вологовмісту матеріалів, що підтверджується проведеними додатковими дослідженнями їх гідратації та поглинання оксиду сірки (IV) в статичних умовах [53]. Встановлено [30], що, на відміну від ІВХС-МЕА, введення H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> та CH<sub>2</sub>O до складу ІВХС-РЕРА не призводить до збільшення його захисних властивостей щодо SO<sub>2</sub>.

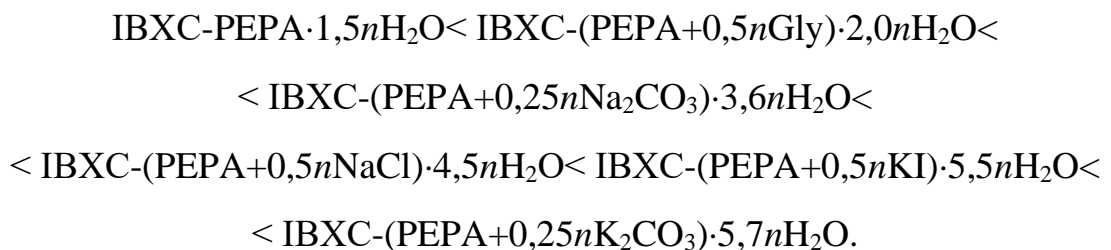
З урахуванням даних [41, 44, 46-49, 51], просочувальні розчини потрібно готувати таким чином, щоб молярне співвідношення компонентів МЕА або РЕРА (в перерахунку на амінний N); NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, EDTA (в перерахунку на Na); KI, KCl та K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (в перерахунку K) становило N: Na (K) = 2,0: 1,0.



Дослідження хемосорбції оксиду сірки (IV) в статичних умовах показали [53], що сухі зразки IBXC-PEPA-Prom практично не поглинають SO<sub>2</sub>. Значне збільшення кількості хемосорбованого SO<sub>2</sub> спостерігається після досягнення значень  $P/P_s > 0,5$ , коли утворюються менш міцно пов'язані поверхові гідратні шари і з'являється так звана “вільна” вода, що бере участь в процесі хемосорбції [30].

Звертає на себе увагу той факт, що кількість поглинутого оксиду сірки (IV) зразками IBXC-PEPA-Prom, значно перевищує суму парціальних внесків складових компонентів [53]. Встановлено стехіометричний склад продуктів, що утворюються при хемосорбції SO<sub>2</sub> розробленими авторами [53] зразками IBXC-PEPA-Prom.

Внесення добавок до складу IBXC-PEPA призводить до синергічного збільшення кількості зворотно (видаляється вакуумуванням) сорбованого SO<sub>2</sub> зразками IBXC, симбатно змінюваного зі ступенем їх гідратації в ряду [53]:



Зазначена залежність описується рівнянням виду:

$$a_{\text{звор.}}(\text{SO}_2) = -0,0295 + 0,3062 \cdot a_{0,90}(\text{H}_2\text{O}), \quad (1.2)$$

окрім зразків IBXC-0,5(KI·1,3H<sub>2</sub>O), IBXC-0,25(K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·4,0H<sub>2</sub>O) та IBXC-(PEPA+0,5nGly)·2,0nH<sub>2</sub>O.

Показано [30], що посилення гідратації IBXC-PEPA за рахунок внесення в його склад неорганічних (LiCl, NaCl, KI, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> і K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) і органічних (EDTA, Gly) добавок супроводжується збільшенням його статичної (у т.ч. “оборотної” і “незворотної”) та динамічної поглинальної ємності щодо SO<sub>2</sub>. Причому в більшості випадків спостерігається синергічний ефект.

Однак, як вказано вище, захисні характеристики ІВХС щодо  $SO_2$  досліджувались співробітниками ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України лише в умовах, коли концентрація вказаної АХНР в газоповітряній суміші ГПС складала  $150 \text{ мг/м}^3$ . Відомі ІВХС кислих газів [27, 30, 32, 39-52] не забезпечують нормовані вимоги [54] для протигазових фільтрів класу Е1 (діоксид сірки), якими можна було б споряджати ЗІЗОД для захисту користувачів в умовах НС, зумовлених аварійними викидами кислих газів, зокрема  $SO_2$ .

#### **1.4 Аналіз конструкцій існуючих фільтруючих та ізолювальних засобів індивідуального захисту органів дихання**

За принципом дії ЗІЗОД поділяються на фільтрувальні, які використовують в умовах достатнього вмісту кисню в навколишньому середовищі, та ізолювальні, що рекомендуються до застосування при концентрації кисню менше 17 % та при значному перевищенні передбаченої норми шкідливих речовин в навколишньому повітрі, тобто в атмосфері, яка абсолютно непридатна для дихання [55].

Для забезпечення надійного захисту органів дихання ЗІЗОД повинні відповідати наступним вимогам: мати низький опір диханню для зменшення стомлюваності користувача; забезпечувати вдихання чистого повітря без його забруднення через підсмоктування в області смуги обтюрації; мати малий “мертвий” об’єм для запобігання вдиханню повітря, що видихається, з підвищеним вмістом  $CO_2$ ; легко і швидко прилаштовуватися; бути легкими і міцними; підтримувати задовільний рівень комфортності, щоб стимулювати використання, знижувати втому і сприяти зосередженню уваги того, хто ними користується; мати низький рівень шуму дихального клапана, щоб не відволікати користувача [56].

Усі фільтрувальні засоби індивідуального захисту (респіратори) можна поділити на два великих підкласи за способом подачі повітря у підмасковий

простір: примусовий (рис. 1.1) і самовисмоктування (рис. 1.2). Перші являють собою системи, що складаються з лицьової частини, турбоблока, забезпеченого фільтрами і відповідними клапанами і з'єднувального шлангу. Принцип дії полягає в тому, що очищене повітря за допомогою повітрорудки нагнітається під лицьову частину, забезпечуючи підвищений тиск, що не дозволяє забрудненому повітрю з робочої зони потрапляти до легенів працівника (рис. 1.3). Другі – складаються з лицьової частини та фільтрів за необхідності клапанів вдихання та видихання. Принцип дії полягає у проходженні повітря з домішками через деякий набір різноманітних фільтрів за рахунок створення різниці тисків у підмасковому просторі. Для цих ЗІЗОД важливо забезпечити достатній рівень ізолювання органів дихання, за рахунок відповідної конструкції обтюратора.



Рисунок 1.1 – Фільтрувальні ЗІЗОД з примусовою подачею повітря (PAPR)

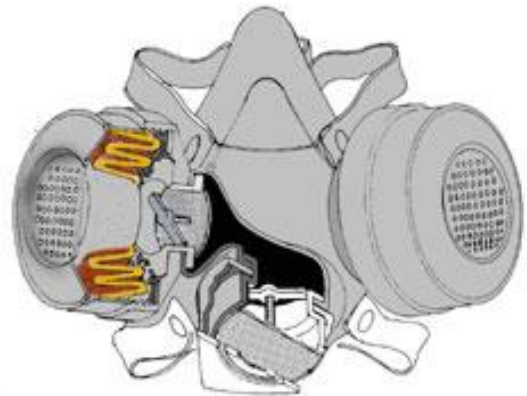


Рисунок 1.2 – Фільтрувальні ЗІЗОД з самовисмоктуванням (Elastomeric Face Piece)

Надійне ізолювання органів дихання від шкідливого навколишнього середовища досягається у лицевих частин, обтюратор яких може видозмінюватись враховуючи антропометричні відмінності обличчя. Слабким місцем обтюратора вважається зона перенісся, де і фіксується найбільша кількість підсмоктувань нефільтрованого повітря. Тому зусилля виробників направлені на вивчення антропометричних параметрів обличчя, зумовлених

віком, умовами праці, національністю та інших та моделювання контурів ущільнювача з використанням сучасних 3d-технологій.

Для саморятуння цивільного населення можна обмежено застосовувати промислові протигази, коли достеменно відомо, яка токсична речовина знаходиться в навколишньому середовищі, як, наприклад, це було при аварії на залізничному транспорті в Львівській області, коли до атмосфери надійшла велика кількість жовтого фосфору [57].

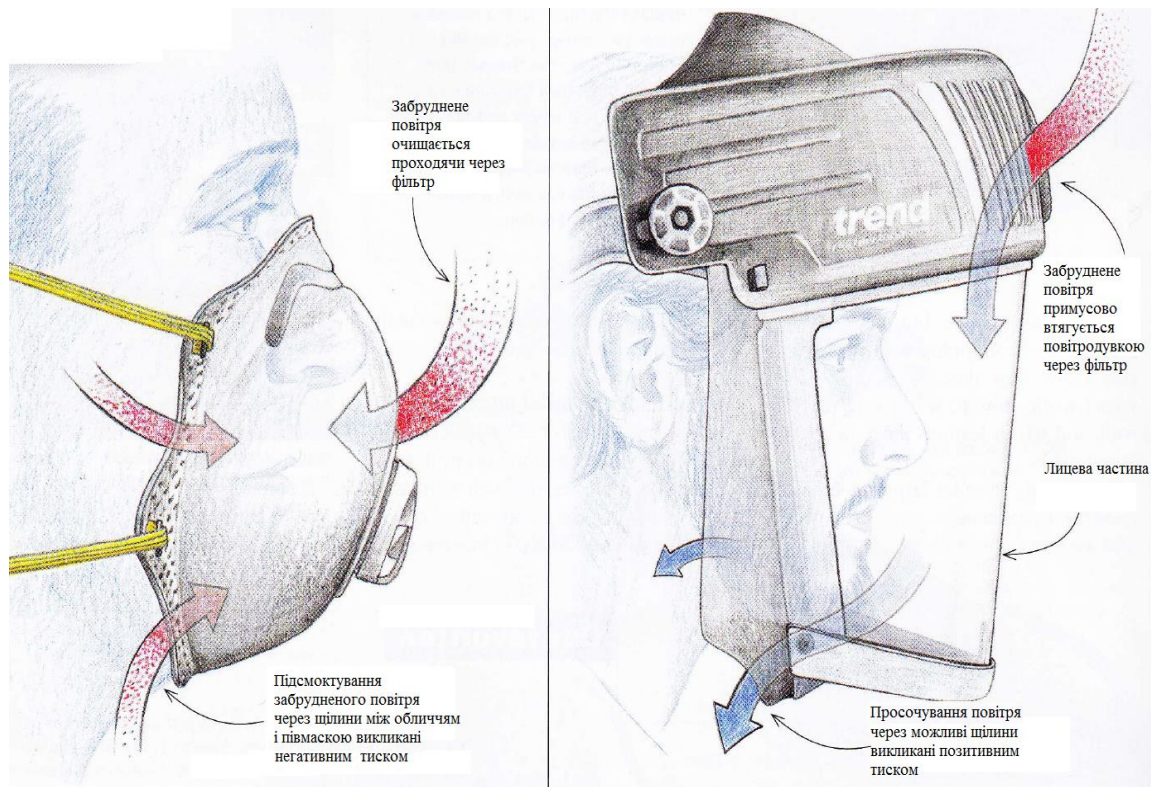


Рисунок 1.3 – Різниця між респіраторами з примусовою подачею повітря і самовисмоктуванням

Найбільшого поширення як більш прості за конструкцією отримали фільтрувальні протигази, принцип захисної дії яких заснований на фільтрації частинок аерозолі і сорбції токсичних парів і газів за допомогою фільтрів і хемосорбентів, розміщених в спеціальних фільтрувально-поглинальних коробках (ФПК) або патронах; видихуване повітря видаляється з підмаскового простору назовні через клапан видиху.

За призначенням сучасні фільтрувальні протигази підрозділяються на військові і цивільні, які використовуються для захисту від радіоактивного

пилу, отруйних речовин (зокрема і бойових), бактеріальних аерозолів та промислові – від небезпечних домішок на виробництві.

Загальний вигляд військового, цивільного та промислового фільтрувальних протигазів наведений на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд військового, цивільного та промислового фільтрувальних протигазів: а – військовий М53 (Avon Protection Systems, Inc, США); б – цивільний ГП-9; в – промисловий ППФ-700

В Україні ТОВ “Наука” виробляє військові протигази ФП-М95У (табл. 1.3) та ФП-М05У, які зібрані з комплектуючих фірми «Scott Health & Safety Ltd».

Таблиця 1.3

### Фільтрувальний протигаз ФП-М95У [52]

		Технічні параметри протигаза		
		Опір вдиху видиху, мбар		
		Опір вдиху 30 л/хв		< 0,45
		Опір вдиху 95 л/хв		< 1,0
		Опір видиху 160 л/хв		< 1,2
		Вміст CO <sub>2</sub> в підмасковому просторі:		< 0.5 %
		Коефіцієнт захисту (в лабораторних умовах)		> 10 000
		Захист від ХБОР, год		> 24
Матеріали, з яких виготовлені конструктивні елементи протигазу		Поле зору, %		
		ефективне:		86
		мінімальне:		70
Лицьова частина	Хало-бутіло-еластомер	Маса, г без фільтра: з фільтром:		
Внутрішня напівмаска	Силікон			
Клапанні диски	Силікон			
Окуляр	Поліамід	Строк збереження в заводській упаковці, років	20	

Ці зрізки, здебільше, являються клонами відомого військового протигазу НАТО, наприклад, M95 RC (Велика Британія) або M95 Gas Mask (Фінляндія).

Окремий клас складають **промислові протигazi**, які розраховані на високі навантаження і можуть використовуватися в самих несприятливих виробничих умовах для захисту органів дихання, обличчя та очей робітника від впливу шкідливих речовин у вигляді газів, парів і аерозолів (пилу, диму, туману) присутніх в повітрі виробничих приміщень [58-61].

На відміну від військових або цивільних промислові протигazi споряджаються ФПК, які мають виборчу здатність поглинати сильнодіючі отруйні речовини (СДОР), котрі містяться у повітрі робочої зони конкретного виробництва, у той час як при виникненні НС необхідний захист органів дихання від широкого спектру токсичних речовин, зазвичай, навіть різної хімічної природи.

В якості прикладу в табл. 1.4 наведено маркування та деякі технічні характеристики фільтрів фірми «MSA Safety Company» (США), призначених для використання у складі промислових протигазів [53].

Деякі типи **цивільних протигазів**, які використовуються в системі цивільного захисту, та їх технічні характеристики наведені на рис. 1.5 і в табл. 1.5. Окрім цивільних протигазів для дорослих, відомі дитячі протигazi (рис. 1.6), наприклад, ПДФ (протигаз дитячий фільтрувальний), різних типів, модифікацій і розмірів лицьової маски, який призначений для використання дітьми віком 1,5–7 років (індекс «Д» у назві протигазу) та для 7–17 років (індекс «Ш») відповідно.

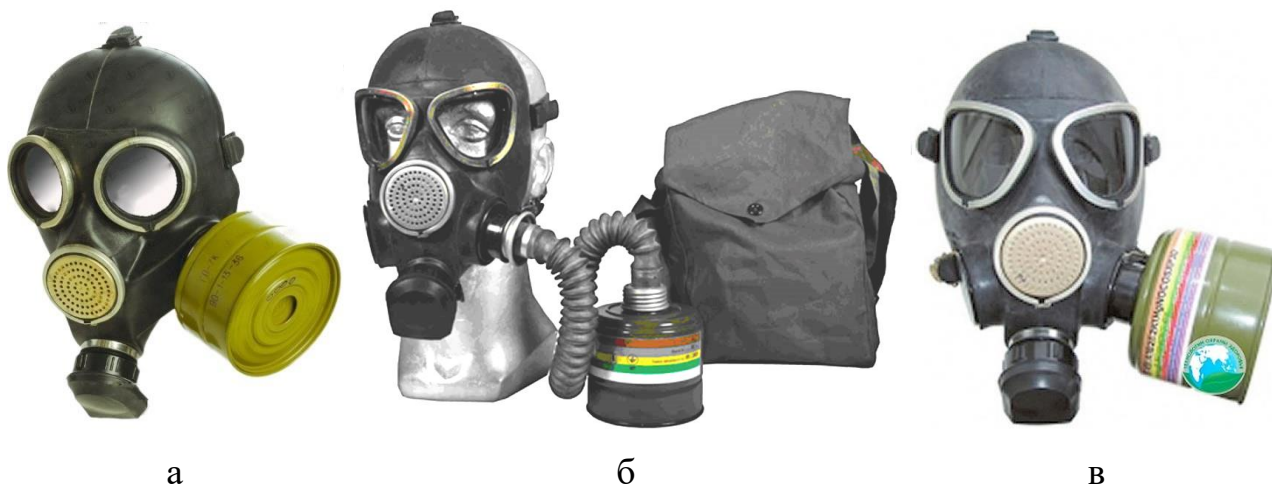
На відміну від фільтрувальних, ізолювальні протигazi безпосередньо не пов'язані з атмосферою, завдяки чому можливо проведення робіт в безкисневій атмосфері або навіть в рідких середовищах, наприклад, під водою [56, 57].



## Фільтри фірми «MSA Safety Company» (США) [54]

Кодовий колір	Тип	Клас ( $\tau_{\text{макс}}$ , хв)*	ГДК, РРМv	Захист від СДОР	Стандарт
1	2	3	4	5	6
коричневий	А	1	1000	Прості органічні гази і пари з температурою кипіння вище 65 °С	ДСТУ EN 14387
		2	5000		
		3	8000		
сірий	В	1	1000	Прості неорганічні гази і пари (окрім СО), наприклад, Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCN ...	
		2	5000		
		3	10000		
жовтий	Е	1	1000	Діоксид сірки та інші кислі гази і пари	
		2	5000		
		3	10000		
зелений	К	1	1000	Аміак та його органічні похідні	
		2	5000		
		3	10000		
коричневий	АХ	40(для групи 1)	≥ 100	Прості органічні гази і пари з температурою кипіння, що дорівнює або нижче 65°С. Тільки для одноразового використання	
		20(для групи 1)	≥ 500		
		60(для групи 2)	≥ 1000		
		20(для групи 2)	≥ 5000		
синій-білий	NO-P3	(≥ 20)	2500	Оксиди азоту, наприклад NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , та аерозольні частинки	
червоний-білий	Hg-P3	(≥ 3000)	1,6	Пари ртуті та аерозольні частинки	
чорний	CO	(≥ 20)	10000	Монооксид вуглецю	DIN 58620 EN 14387

\* – максимальний час використання фільтра



а

б

в

Рисунок 1.5 – Цивільні фільтрувальні протигази: а – ГП-7; б – УЗЗ ВК; в – МЗС ВК з маскою МГУ

## Технічні характеристики цивільних протигазів [55]

Найменування показника	МАРКА ПРОТИГАЗА			
	ГП-7кБ ТУ Г-10-110382; ТУ Г-10-1104-82	УЗЗ ВК з фільтрами ВК 320 ТУ 8027-344-05795731-2007	УЗЗ ВК с фільтрами ВК 600 ТУ 8027-344-05795731-2007	МЗС ВК з маскою МГУ ВЗ 07 187.000 ТУ
1	2	3	4	5
Опір диханню на вдиху при швидкості постійного потоку повітря 30 дм <sup>3</sup> /хв, Па	180	176	225	184
Коефіцієнт проникності ФПС за аерозолем стандартного масляного туману СМТ, %, не більш	0,0001	0,001	0,001	0,0001
Коефіцієнт підсмоктування аерозолю СМТ під лицьову частину, %, не більш	0,0001	0,0001	0,0001	0,0007
Робочий інтервал температур, °С	(- 40) ÷ (+40)	(- 40) ÷ (+50)	(- 40) ÷ (+50)	(- 40) ÷ (+40)
Габаритні розміри, мм	285x250x115	–	–	–
Маса комплекту протигазу без сумки, кг, не більш	0,90	1,11	1,45	1,1
Гарантійний строк зберігання в заводському впакуванні, років, не менш:	15	10	10	12



Рисунок 1.6 – Дитячі фільтрувальні протигазы: а – 4A1 YOUTH SURVIVAL GAS MASK (unknown, Ізраїль); б – ПДФ-7; в – ПДФ-ТД

Якщо при виникненні або ліквідації наслідків НС у повітрі наявні невідомі речовини (більше 0,5% за об'ємом), високі концентрації СДОР, а також при зменшеному вмісті кисню (менше 18% при нормі 21%) необхідно застосовувати лише ізолювальні протигазы автономні або шлангові, в яких



органи дихання, обличчя та очі ізольовані від навколишньої зараженої атмосфери маскою (шолом-маскою), а власне процес дихання забезпечується, відповідно, подачею дихальної суміші з індивідуальних джерел повітропостачання або подачею придатного для дихання повітря з чистої зони по шлангах.

Залежно від конструкції лінії подавання чистого повітря шлангові протигази можуть виготовлятися як із самовисмоктуванням (ПШ-1С, ПШ-1Б, ПШ-1Б-20), так і з примусовою подачею повітря за допомогою ручного (ПШ-20 РВ, ПШ-40 РВ) або електричного (ПШ-20 ЭРВ), ПШ-40 ЭРВ) спонукача витрати. Автономні протигази (АП) підрозділяються на резервуарні «Spiromatic QS», Dräger PSS® 7000, КИП-8), в яких дихання відбувається за рахунок кисню або стисненого повітря, що подається з балона, та регенераційні (ІП-46, ІП-46М, ІП-6, АП «АЛЬФА», де потрібний для дихання кисень вивільнюється з регенеративного патрона, заповненого зернами перекису натрію з додаванням гідроксиду кальцію.

В АП відкритого циклу (акваланг) продукти видиху відводяться в атмосферу здебільшого через спеціальний клапан. В АП замкнутого циклу видихуване повітря очищується від діоксиду вуглецю і збагачується киснем у регенеративному патроні та знову подається на вдих. Маємо зазначити, що ізолювальні протигази внаслідок своєї конструкції, складності експлуатації, яка потребує наявності спеціальних навичок (табл. 1.6), використовуються виключно лише дорослими, здебільшого – бійцями рятувальних спецпідрозділів та аварійно-рятувальними і газодимозахисними службами промислових підприємств з потенційно небезпечним виробництвом.

Несприятливий вплив протигазів на фізіологічні функції організму обумовлений опором диханню, котрий виникає при проходженні вдихуваного повітря крізь фільтрувально-поглинальні пристрої, шкідливим підмасковим простором, оскільки видихуване повітря, що знаходиться в ньому і містить до 4% діоксиду карбону, повторно надходить у легені при вдиху разом з очищеним атмосферним повітрям, впливом лицьової частини

протигазу, яка погіршує видимість, приблизно на 40% звужує поле зору, утруднює мову, а шолом-маска, крім того, знижує гостроту слуху.

Таблиця 1.6

### Основні характеристики деяких ізолювальних протигазів [68]

Характеристика	Протигаз				
	ИП-5	ИП-6	АП "АЛЬФА"	Spiromatic QS II	Dräger PSS BG4 plus
Маса спорядженого апарата, кг	≤ 5,2	3,6	< 14	≤ 17,5	15,5
Час захисної дії на суші (під водою), хв: у стані спокою при виконанні аварійно-рятувальних робіт	200 (120)	150	–	–	–
	75 (90)	40	240	≤ 120	≤ 240
Габарити (В x Ш x Г), мм	330x240x130	330x240x125	584x439x178	–	595x450x185

При підвищенні зовнішньої температури на ділянках шкіри, які щільно стикаються з гумою шолом-маски, порушується потовиділення, що призводить до перегрівання і набряків тканин обличчя; при зниженні температури – можливі місцеві відмороження.

Застосування замалої за розміром гумової шолом-маски викликає механічне стискання тканин голови, порушення місцевого кровообігу та сильні больові відчуття в області надбрівних дуг і по потовщених краях шолом-маски.

Таким чином, опір диханню, механічний тиск лицьової частини на шкірні покриви верхньої частини голови та обличчя людини, габарити, маса і обмеження поля зору є найважливішими ергономічними характеристиками протигазів. Так, технічні характеристики деяких цивільних фільтрувальних протигазів (табл. 1.5) показують, що крім відносно великих габаритів і маси всі вони мають досить значний опір диханню на вдиху; відмітимо, що вказані значення отримані при швидкості постійного потоку повітря 30 дм<sup>3</sup>/хв, тобто відповідають стану спокою або виконання легкої роботи. Важливо також

відмітити, що попереднього добору по розмірах лицьової частини потребують будь-які протигази, а навички щодо їх правильного надягання і користування набуваються тільки в результаті цілеспрямованого навчання й тренувань.

Саме для збереження життя і здоров'я цивільного населення в умовах надзвичайної ситуації використовуються саморятівники – сучасні ефективні комплексні ЗІЗ органів дихання і зору людини від токсичних аерозолів, токсичних газів і парів, голови та шиї від впливу відкритого полум'я, які використовуються при аваріях для евакуації з виробничих, адміністративних і житлових приміщень, а також – осередку виникнення НС. Відмінна риса саморятівників – можливість їх негайного застосування цивільним населенням різного віку без попередньої перевірки розмірів шолома на відповідність антропометричним розмірам обличчя користувача, навіть за наявності значного волосяного покриву на голові користувача та окулярів приблизно у 90% виникнення аварій або НС, коли несприятлива ситуація розвивається протягом хвилин і навіть секунд. Певною мірою саморятівник може стати єдиним засобом порятунку користувача в екстремальній ситуації за умови його «крокової» доступності, яка значно краще реалізується для портативних виробів, оскільки їх простіше носити із собою, простіше зберігати у місцях масового скупчення та на шляхах евакуації людей. Усі відомі саморятівники оснащені універсальними за розмірами захисними капюшонами (шоломами), які оберігають голову і волосся від іскор при короткочасному контакті з відкритим полум'ям та дозволяють використовувати їх людям, що мають бороду, вуса, об'ємну зачіску, окуляри. В табл. 1.7 наведені основні відмінності саморятівників від ЗІЗОД інших класів.

Ізолювальні саморятівники (ІС) – дихальні апарати, призначені для екстреного захисту органів дихання, зору і шкіри обличчя людей в непридатній для дихання атмосфері при евакуації, виконанні аварійно-рятувальних дій; рекомендується застосовувати при вмісті у повітрі зони аварії чи НС об'ємної частки вільного кисню менше 17%, наявності АХНР,

від яких не захищає фільтр протигаза (метан, ацетилен і інші вуглеводні) або концентрація яких перевищує захисні можливості інших типів ЗІЗОД.

Таблиця 1.7

**Основні відмінності унормування саморятівників від ЗІЗОД інших класів**

Відмінні ознаки	Саморятівники	Протигази	
		Військові, для системи ЦЗ	Промислові
Мета використання	Зниження ризику уражень при виході з небезпечної зони в умовах НС	Забезпечення боєздатності (працездатності) в умовах, та при ліквідації наслідків НС	Захист органів дихання персоналу від дії токсичних газів, парів, аерозолів, що присутні у повітрі робочої зони
Користувачі	Цивільне населення	Особливий склад військ і формування ЦЗ	Персонал підприємств
Кратність використання	Одноразово	Багаторазово	Багаторазово
Тривалість використання	15–30 хв	Години	Години
Діючі концентрації, дози	Невідомі	Зазвичай відомі з даних хімічної та радіологічної розвідок	Відомі
Норми і порядок використання	Не встановлені	Встановлені	Встановлені

Існують ІС наступних типів [69]:

- з твердим джерелом кисню –ЗІЗОД разового використання, дія якого заснована, по-перше, на регенерації газової дихальної суміші (ГДС), що заповнює внутрішній об'єм саморятівника і використовується для дихання в контурі саморятівника за рахунок поглинання хімічною речовиною видихуваного діоксиду вуглецю і вологи, а по-друге, – на додаванні в ГДС кисню з твердого джерела кисню;

- з хімічно зв'язаним киснем – засіб разового використання, дія якого заснована на регенерації ГДС в контурі саморятівника за рахунок поглинання хімічною речовиною видихуваного діоксиду вуглецю і вологи з одночасним додаванням до ГДС кисню, що виділяється при хімічній реакції;

- зі стисненим киснем – засіб одноразового або багаторазового використання, дія якого заснована на регенерації ГДС в контурі

саморятівника за рахунок поглинання хімічною речовиною діоксиду вуглецю, що видихається, і додаванням в ГДС кисню з балона зі стисненим киснем.

У всіх типів зазначених ІС надлишок ГДС виводиться назовні через клапан надлишкового тиску. Використання хімічно зв'язаного кисню забезпечує довгострокове (не менш п'яти років) зберігання ІС у стані готовності та не вимагає додаткового обслуговування при експлуатації [70].

В системі цивільного захисту використовують: цивільний ізолювальний саморятівник ІГІС-25 саморятівник промисловий ізолювальний СПИ-20 (СПИ-50), та інші (табл. 1.8). Найбільш придатними для використання цивільним населенням у разі виникнення НС є фільтрувальні саморятівники (СФ).

Таблиця 1.8

### Технічні характеристики ізолювальних саморятівників [71]

Технічні характеристики	Марка ізолювального саморятівника				
	СПИ-1	Dräger Saver CF-15	Фенист-300-2	СПИ-50	ІГІС-25
Час захисної дії при евакуації, не менш, хв	15	15	30	50	25
Температурний діапазон застосування, °С	0 ÷ 60	(-15) ÷ 60	(-10) ÷ 60	0...+60	(-5) ÷ 60
Габаритні розміри, мм:	110×230×270	260×510×190	150×480×170	140×260×330	110×195×310
Маса робочої частини, не більш, г	1,8	6,9	3,0	2,5	2

СФ класифікують: 1 – за призначенням (для захисту особового складу невоєнізованих формувань, працюючого та непрацюючого дорослого населення, дітей віком 7–16 років, дітей віком 1,5–7 років і осіб з послабленим здоров'ям, дітей віком до 1,5 років); 2 – за функціональними (для захисту органів дихання, зору та шкіри голови людини) і захисними (протипиліві, протигазові і газопилозахисні) властивостями; 3 – за способом подання повітря (ЗІЗОД без нагнітання повітря або ЗІЗОД із МПФП).

Класифікація ЗІЗОД і формулювання технічних вимог за способом подання повітря, що очищається, є важливою відмінністю СОУ МНС 75.2-

00013528-002:2010 від інших стандартів, оскільки, як буде показано нижче, асортимент ЗІЗОД із примусовим поданням повітря в останні роки значно поширюється.

Сьогодні пропонується достатня кількість саморятівників для використання невідготовленою людиною в умовах НС, які, нажаль, випускаються за кордоном. Переважна їх більшість оснащена патронними фільтрами, що дозволяє за рахунок фізико-хімічних властивостей сорбційно-фільтрувальних матеріалів і низькотемпературних каталізаторів забезпечувати уловлювання аеродисперсних часток і нейтралізацію токсичних парів і газів та випускати фільтри, призначені для відповідних умов експлуатації за НС [72, 73].







У табл. 1.9 наведені технічні характеристики фільтрувальних саморятівників, які відрізняються як за конструкцією, так і захисними, зокрема і термозахисними, властивостями [74-76]: «Parat-C», «ЭВАК», «SWEDE CBRN Escape Hood», «Sundstrom SR77-87», «KIMI PLUS», «ГДЗК» (табл. 1.9). З табл. 1.9 видно, що у деяких випадках технічні характеристики фільтруючих саморятівників наведені при витраті 30 дм<sup>3</sup>/хв, що є типовим для легкої роботи. Наприклад, опір диханню для саморятівника "СПУ-ГЗ" становить 147 Па (при витраті повітря 30 дм<sup>3</sup>/хв), що на перший погляд значно менше, ніж у випадку саморятівника "Шанс-Е", де опір диханню становить 720 Па (за даними при витраті повітря 95 дм<sup>3</sup>/хв). Однак у стресовому стані дихання прискорюється, що призводить до значного збільшення реальної витрати вдихуваного повітря і, відповідно, опору диханню.

Оскільки пожежі є найчастішою причиною надзвичайних ситуацій, компоненти саморятівників повинні відповідати наступним вимогам:

- шоломи-маски не повинні деформуватися при зміні температури навколишнього середовища від мінус 30°C до плюс 70°C;
- складові частини саморятівників повинні бути стійкими до займання, витримувати дію відкритого полум'я з температурою (950±50)°C

Таблиця 1.9

## Технічна характеристика деяких фільтрувальних саморятівників

Технічні характеристики	МАРКА					
	«Parat-C»	«ЭВАК»	«SWEDE CBRN Escape Hood»	«Sundstrom SR77-87»	«KIMI PLUS»	«ГДЗК»
						
Конструкція	Маска з Каптуром	Рятувальний капюшон	Маска з каптуром	Маска з каптуром	Маска з каптуром	Маска з каптуром
Габарити, мм	90x140x200	Ø65x130	155x235x130	120x120x170	— * «кишеньковий»	189x153x133
Маса, г	550	312	550	590	150	800
Час захисної дії за АХНР, хв.	>15	>20	>30	>30	> 20	≥ 30
Перелік АХНР	CO, NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, HCN, HCl, NO <sub>x</sub> .	CO, HCl, HCN, HF, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , акролеїн	NH <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , зарін, зоман, VX-гази	CO, HCl, HCN, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> , акролеїн	NH <sub>3</sub> , CCl <sub>4</sub> , Cl <sub>2</sub> , HCN, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , акролеїн	CO, NO <sub>2</sub> , HCl, HCN, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> , акролеїн
Наявність хемосорбенту	+	+	+	+	+	+
Опір диханню на вдиху, (при витраті повітря, дм <sup>3</sup> /хв), Па	800 (95)	—*	800 (95)	800 (95)	166 (30)	800 (95)
Матеріали	Вогнестійкий матеріал PVC	Вогнестійкий поліімід, Kapton® HN	Вогнестійка тканина з алюмінієвим покриттям	Nomex, полікарбонат	Поліхлоропреновий латекс, политетрафторетилен	—*
Вогнестійкість, °С	Короткочасно до 1000	285–437	Не більш 800	+70	маска – 150; каптур – 200	100 не більш 2хв
Виготовлений відповідно до:	DIN 58647	ISO 9001	GA 209-1999	EN 143	ISO 9002, NFPA 701	ТУ 6-00209591-392-93
Країна-виробник	Германія	РФ–Канада	США	Швеція	Ізраїль	РФ
Виробник	Drägerwerk AG & Co.	НПО «Асоціація КрилаК»	First Line Technology, LLC	Sundstorm Safeti	Duram Rubber Product.	ВАТ «EXMЗ»
Термін придатності, р.	6	5	3	7,5	5	3

- протягом ( $5\pm 0,2$ ) с на відстані ( $20\pm 2$ ) мм, не займатися або горіти протягом більше ніж 5 с після вилучення із полум'я;
- шолом-маски мають залишатися герметичними після впливу теплового потоку 8,0 кВт/м, джерело якого розташовано на відстані 175 мм від них.

Зменшення теплового впливу на голову користувача досягається за рахунок використання тепловідбивних металізованих матеріалів і/або для виготовлення шолом-масок з тканин з низькою теплопровідністю.

### **1.5 Особливості використання саморятівників з моторовими повітрянагнітальними фільтруючими пристроями**

У зв'язку з підвищенням вимог до безпеки і ефективності ЗІЗОД, відсутністю сьогодні універсальної маски або шолома, ідеально прилеглих до обличчя будь-якого користувача, наявності підсмоктування (хоча б і в межах вимог діючих стандартів) в ізолювальних і фільтрувальних саморятівниках, незначним часом їх захисної дії набув розвитку напрямок зі створення ЗІЗОД з моторовими повітрянагнітальними фільтрувальними пристроями (СМПФП) (за іноземною термінологією – powered air purifying respirators, PAPR), які б дозволили людині тривалий час перебувати в небезпечному середовищі без погіршення фізичного самопочуття. Об'єктивним чинником, що сприяє прояву конкурентних переваг СМПФП перед традиційними фільтруючими ЗІЗОД, є присутність в атмосферному повітрі в умовах НС широкого спектра токсичних речовин різної природи, вловити який у повному обсязі фільтрувальні елементи традиційних ЗІЗОД не в змозі, а створення універсального фільтра з достатньою сорбційною ємністю призведе до збільшення не тільки його габаритів і маси, але і початкового опору диханню, що негативно позначається на фізичному самопочутті людей, особливо з ослабленим здоров'ям, і дітей [77].

З появою малогабаритних високопродуктивних економічних вентиляторів та енергоємних джерел живлення з малим струмом саморозряду



при зберіганні стало можливим створення спонукачів витрати, які можна носити із собою, здатних подолати підвищений опір універсального фільтра і тим самим знизити навантаження на органи дихання людини. В таблиці 1.10 наведені деякі СМПФП, придатні для експлуатації як дітьми різних вікових категорій, так і дорослим населенням. Як правило, усі відомі СМПФП складаються з наступних конструктивних елементів: захисний капюшон або повнолицьова маска; фільтрувальний патрон або фільтр, призначений для очищення вдихуваного повітря; портативний вентиляторний блок з джерелом живлення (турбоблок). Зазвичай фільтрувальний патрон і блок спонукача витрати кріплять на грудях або на поясі користувача [78].

В даний час в залежності від тиску, що створюється в підшоломному (підмасковому) просторі, СМПФП поділяються на два типи: з негативним тиском (*negative-pressure types*) і з позитивним тиском (*positive-pressure types*). У ЗІЗОД негативного тиску фільтри або фільтрувальні патрони через повітропровідний шланг і клапан вдиху приєднані до маски (півмаски), що щільно прилягає до обличчя користувача.

Завдяки негативному тиску в підмасковому просторі, що створюється вентилятором, забруднене атмосферне повітря надходить через фільтр у зону дихання; видихуване, збагачене діоксидом вуглецю і парами води повітря, виводиться через спеціальне витяжне пристосування, закріплене на масці. Герметизація маски на обличчі користувача досягається за рахунок негативного тиску в підмасковому просторі. Зазначимо, що внаслідок застосованого принципу роботи СМПФП з негативним тиском комплектуються тільки повнолицьовою маскою або півмаскою, які можуть бути розташовані під захисним капюшоном, шоломом або екраном [79].

Проте з досвіду експлуатації респіраторів та протигазів (які за принципом роботи є пристроями з негативним тиском) відомо, що можлива розгерметизація маски (півмаски) при попаданні волосся або будь-яких інших сторонніх об'єктів між нею та шкірою користувача, внаслідок чого забруднене повітря завдяки негативному тиску в підмасковому просторі

легко проникає у зону дихання. СМППІ з позитивним тиском створюють більш надійний захист користувача завдяки тому, що відфільтроване повітря нагнітається вентилятором в підмасковий простір в кількостях, що значно перевищують потреби для дихання.

Наразі усі відомі світові виробники виготовляють ЗІЗОД з блоками примусової подачі повітря, однак вони частіше є промислового призначення: споряджені, здебільшого, протиаерозольними і/або спеціалізованими фільтрами, розрахованими на уловлювання конкретних токсичних речовин; самі ж блоки з джерелом живлення розраховані на використання протягом робочої зміни, а отже мають досить великі габарити та масу (табл. 1.10). До того ж вони не захищають від дії монооксиду вуглецю.

Таблиця 1.10

### ЗІЗОД з блоками примусової подачі повітря [80-82]

Технічні характеристики	SR 500	Муссон 2000	Versaflo TR-300	ЗМ JUPITER
Загальний вигляд				
Максимальна об'ємна витрата повітря, дм <sup>3</sup> /хв	225	120 ÷ 200	190	160
Загальна маса, кг	1,49	1,10	1,15	1,48
Клас захисту фільтра	P3; A1BЕ2K1P3	P3	P3; A1B1E1	P3; A2P3; ABEP3; ABEKP3
Час безперервної роботи, год:	8	8	12	8

Єдиними відомими саморятівниками з блоками примусової подачі повітря, які рекомендуються для застосування цивільним населенням в умовах НС, є «Scape CO/CBRN 30» (ILC Dover, LP (США)) та «Israeli Bardas Gas Mask Hood» (Shalon Chemical Industries, Ltd (Ізраїль)). До переваг «Scape® CO/CBRN 30» слід віднести: вбудований вентилятор, який автоматично запускається в

момент виймання саморятівника, LED-індикатор сигналізує користувачеві (у тому числі особам з порушеннями слуху) про роботу вентилятора, панорамне поле зору. При чому ємність вбудованого до протигазової коробки універсального фільтра забезпечує 30 хв. безперервного захисту органів дихання від токсичних речовин (зокрема бойових і монооксиду вуглецю та інших токсичних газів, що виділяються при пожежі).

### 1.6. Аналіз власних ризиків моторованих ЗІЗОД

Для проведення оцінювання власних ризиків моторованих ЗІЗОД, які характеризують їх недоліки, що можуть виникнути під час експлуатації скористаємось алгоритмом методу "FMEA", який дозволяє на основі застосування організаційних, логічних і математико-статистичних процедур розрахувати ранг пріоритету професійного ризику вимкнення небезпечної ситуації на основі трьох показників тяжкості наслідків ( $S$ ), ймовірності виникнення відмови/інциденту ( $O$ ) та можливості виявлення дефекту, який пов'язаний з небезпечною дією або без дії ( $D$ ). Останній показник пов'язаний також з визначенням впливу психосоціального стану працівника на виникнення людської помилки - небезпечної дії або без дії. За величиною рангу ризику проводиться вибір і обґрунтування раціональних рішень, які спрямовані для підвищення безпеки при роботі АЗС. Детально дії експертів за алгоритмом методу "FMEA" (рис. 1.8) описано в стандарті [82].

Група експертів (табл. 1.11) оцінює три основні фактори професійного ризику для режиму можливих потенційних небезпек: тяжкості наслідків ( $S$ ), ймовірності виникнення відмови/інциденту ( $O$ ) та виявлення дефекту ( $D$ ). Добуток зазначених компонентів  $S$ ,  $O$  та  $D$  дозволяє визначити значення  $RPN$  за формулою [83]:

$$RPN = S \times O \times D, \quad (1.1)$$

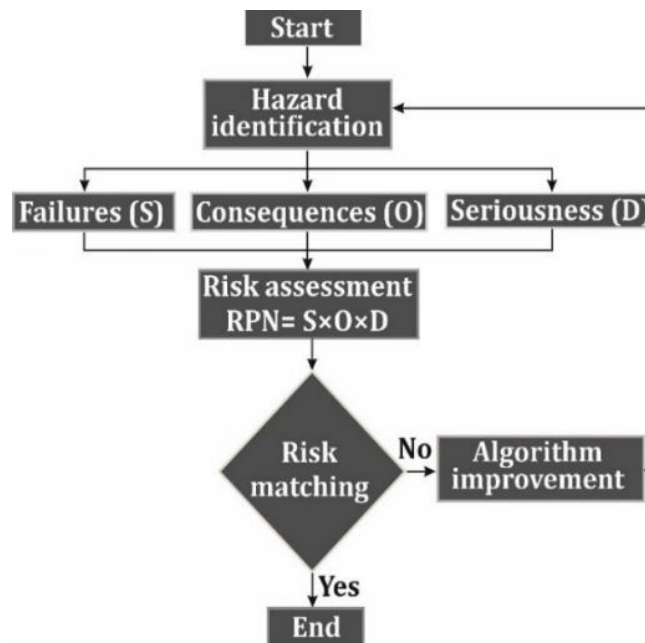



Рисунок 1.8 – Алгоритм дій при проведенні оцінювання ризику методом "FMEA" [83]

Оцінка професійного ризику, яка отримана за алгоритмом методу "FMEA" триває до повної ідентифікації значення  $RPN$ , що вказує на найвищі значення величини професійного ризику. Найбільш впливовими факторами рахуються ті, у яких значення  $RPN$  перевищує 150 балів [83]. Для визначення показників тяжкості наслідків ( $S$ ), ймовірності виникнення відмови/інциденту ( $O$ ) та можливості виявлення небезпечного психосоціального стану ( $D$ ) застосовується шкала від 1 до 10, де 1 - найменша величина показника, а 10 найбільша.

У разі невиконання вказаної нерівності результати оцінок будуть вважатися викидами, які необхідно виключити. При чому з експертами, що дали таку оцінку проводиться роз'яснення для виявлення причин обґрунтованості їх вибору балів під час проведення експертизи. Критичні значення статистик вибираються виходячи із закону розподілу випадкової величини. Результати оцінювання ризиків наведені в табл. 1.11.

Таким чином, до недоліків таких саморятівників слід віднести складну конструкцію фільтрувального ЗІЗОД, яка вимагає постійного моніторингу за ефективністю роботи нагнітаючого вентилятора через значний опір потоку

## Результати оцінювання ризику

Дата:		Схема/фото продукту			Відповідальні				Підпис
Зразок: (дільниця, цех, виробництво)					<b>ЗАТВЕРДЖЕНО:</b> (посада, прізвище, ініціали) Директор НВП Стандарт Васильченко М. С.				
Кому загрожує виявлена невідповідність: Споживачам					<b>ПОГОДЖЕНО:</b> (посада, прізвище, ініціали) Заступник директора з виробництва Наумов М. М.				
Код продукту	Функція продукту	Опис можливої невідповідності	Опис можливої причини	Опис наслідків	Розрахунок числа пріоритетності ризику				Запобіжні заходи
					S	O	D	RPN	
	ЗІЗОД з блоками примусової подачі повітря	1. Нестабільна робота вентилятора	- значний опір потоку повітря; - невеликі розміри повітряних каналів; - роботи на підвищених обертах; - зниження рівня заряду акумулятор.	- зменшення фільтрувальної здатності півмаски; - зменшення каркасності півмаски.	9	7	5	315	- додавання блоку контролю за параметрами повітряного потоку; - додавання багатофункціональної системи датчиків, встановлених в корпусі пристрою; - регулювання основних параметрів повітряного потоку в підмасковому просторі
		2. Невідповідна робота системи керування	- недостатній тиск стиснутого повітря; - підвищення витрати повітря (більше 300 л/хв.); - утворення під маскою від'ємного (негативного) тиску.	- зменшення фільтрувальних властивостей (зниження електростатичного зарядку); - виникнення можливості розриву фільтра; - зменшення пилоємності півмаски.	8	7	6	336	
		3. Низька всмоктувальна спроможність	- через швидке забруднення фільтру; - через значний термін експлуатації; - через значний обсяг повітря.	- втрата захисних властивостей півмаски.	10	7	5	350	

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 керування 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 послідовного встановлення для захисту одночасно декількох протигазових фільтрів. Все перераховане вимагає розробки нової конструкції фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря [85, 86].

Зазначимо, що використані при їх розробці технічні рішення для вирішення питань керування потоком повітря, що проходить через фільтр, зменшення габаритів і маси конструкції, визначення непридатності фільтрів для подальшої експлуатації та ін., в основному, стосуються експлуатації промислових приладів, коли поряд зі специфічними захисними властивостями важливу роль відіграють ергономіка і можливість багаторазового використання пристрою, тривалість його безперервної роботи без підзарядки (або заміни) джерела живлення, сумісності з іншими ЗІЗ [87].

При розробці ж ЗІЗОД, що використовуються в умовах НС, коли необхідний час захисної дії відносно невеликий (нормоване значення 30 хв. відповідно до вимог), першочергову увагу приділяють відповідності діючим стандартам таких параметрів, як захисна ефективність за широким спектром АХНР (СДОР) інгаляційної дії, стійкості засобу до дії високих температур, універсальність і простота у використанні.

## 1.7 Мета та завдання досліджень

Захист дихальних органів рятувальників та цивільного населення під час виникнення надзвичайних ситуацій, таких як техногенні аварії, поширення небезпечних вірусних інфекцій, бойові дії, терористичні акти та пожежі різного походження, особливо в умовах невідомого складу токсичних речовин у повітрі, є надзвичайно важливою й актуальною задачею. Одним із способів її вирішення є розробка ефективних захисних ізоляційних засобів з примусовим подаванням повітря, які відповідають таким вимогам: багатофункціональність, простота конструкції, мінімальний час підготовки пристрою та користувача до експлуатації, контроль експлуатаційних параметрів пристрою під час захисної роботи. В той же час аналіз комерційного ринку продажів подібних моторованих фільтрувальних респіраторів вказує, що не так багато й виробників можуть дозволити виробництво відповідних приладів, оскільки необхідно забезпечити як відповідний рівень технологій та і знайти шляхи для зменшення собівартості.

Так, відомі виробники, такі як "Dräger Safety AG&Co. KGaA", "UVEX", "Delta Plus", "Sundström Safety AB", "3M", "Mine Safety Appliances", займаються розробкою і виробництвом цих засобів.

Однак до недоліками відомих конструкцій є:

- Недостатня ефективність вентилятора виникає через значний опір потоку повітря у повітропроводі, зумовлений відносно малими розмірами повітряних каналів. Це призводить до необхідності працювати на підвищених обертах, що викликає значний шум та швидке розрядження акумулятора, що може бути шкідливим для здоров'я користувача.

- Недостатні захисні характеристики хемосорбентів кислих газів, зокрема діоксиду сірки

- Система керування не завжди ефективно працює, особливо при різкому збільшенні витрати повітря (більше 300 л/хв.) під час важкої роботи. Це може призвести до запізнення включення вентилятора та утворення

негативного тиску під маскою, що може викликати підсмоктування нефільтрованого повітря та збільшення концентрації вуглекислого газу.

- Низька потужність відцентрованого вентилятора обмежує його ефективність у видаленні забруднень з повітря, що ускладнює його використання в атмосфері, забрудненій декількома різними токсичними речовинами. Це може потребувати встановлення кількох протигазових фільтрів послідовно для забезпечення належного захисту.

Мета цього дослідження полягає в підвищенні ефективності засобів індивідуального захисту в умовах надзвичайних ситуацій. Це досягається шляхом розробки нової конструкції фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря та автоматичним регулюванням об'єму повітряного потоку в залежності від інтенсивності фізичного навантаження користувача протягом всього терміну експлуатації. Цей підхід забезпечує підтримку належного рівня захисних властивостей пристрою шляхом постійного моніторингу ключових параметрів.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити декілька задач:

1. Провести аналіз теоретичних підходів до розрахунку терміну захисної дії протигазових фільтрувальних елементів.

2. Удосконалити теоретичну модель для визначення терміну захисної дії протигазових фільтрів з урахуванням впливу вологості повітря з різною витратою повітря.

3. Розробити нову конструкцію респіратора з примусовою подачею повітря з автоматичним регулюванням об'єму та заданої якості підмаскового очищеного повітря у відповідності до режиму роботи користувача незалежно від наявності шкідливих речовин у повітрі робочої зони на протязі усього терміну роботи з підтриманням належного рівня захисних властивостей пристрою.

4. Розробити хемосорбент пролонгованої дії відповідно до класу і умов експлуатації.



5. Удосконалити конструкцію фільтрувального протигазового елемента для збільшення терміну захисної дії, за рахунок забезпечення рівномірного відпрацювання фільтрувальних шарів, через розподіл повітряного потоку.

6. Провести експериментальну лабораторну перевірку як ефективності роботи складових систем пристрою очищення повітря, так і захисних властивостей нового моторованого респіратора

7. Розробити інструкцію для користувача респіратора з примусовою подачею повітря з визначенням відповідних режимів роботи моторованого респіратора.

Основні результати дослідження опубліковані у [2, 24, 76, 78].

## ЛІТЕРАТУРА ЗА РОЗДІЛОМ 1

1. Закон України "Про Загальнодержавну цільову програму захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2013-2017 роки" від 07.06.2012 № 4909-VI. *Офіційний вісник України*. 13.07.2012 г. № 50. Ст. 1955.
2. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Радчук Д.І., Столбченко О.В., Клімов В.Г. Дослідження ізольованих властивостей півмасок респіратора *Геотехнічна механіка*. 2019. № 49. С. 223–232. DOI: 10.15407/geotm2019.149.223
3. СОУ МНС 75.2-00013528-002:2010 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Фільтрувальні засоби індивідуального захисту органів дихання населення в надзвичайних ситуаціях. Класифікація і загальні технічні вимоги. Затв.: наказ МНС України від 25.02.2010 р. № 104
4. Otrisal P., Bungau C., Obsel V., Melicharik Z., Tont G. Selected Respiratory Protective Devices: Respirators and Significance of Some Markings. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, N 9. An 4988. DOI: 10.3390/su13094988
5. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини: навч. посібник. 6-е вид., переробл. і допов. Київ: Знання, 2007. 332 с.
6. Мягченко О.П. Безпека життєдіяльності людини та суспільства. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 384 с.
7. Zhou S.S., Lukula S., Chiossone C., Nims R.W., Suchmann D.B., Ijaz M.K. Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. *J. Thoracic Disease*. 2018. Vol. 10, N3. P. 2059–2069. DOI: 10.21037/jtd.201
8. Brook R.D., Newby D.E., Rajagopalan S. The Global Threat of Outdoor Ambient Air Pollution to Cardiovascular Health: Time for Intervention. *JAMA Cardiol*. 2017. Vol. 2, N 4. P. 353–354. DOI: 10.1001/jamacardio.2017.0032

9. Сусло С.Т., Заплатинський В.М., Харамда Г.М. Цивільний захист: навчальний посібник. За редакцією проф. Біляковича М.О. Київ: Арістей, 2007. 368 с.

10. Шоботов В.М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. друге, перероб. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 438 с.

11. Otrisal P., Friess K., Urban M., Bungau S., Tit D.M., Mosteanu D.E., Melicharik Z., Bungau C., Aleya L. Barrier properties of anti-gas military garments, considering exposure to gas organic compounds. *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 714. An 136819. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136819

12. Доманський В.А. Деякі питання щодо систематизації законодавства у сфері цивільного захисту. *Безпека життєдіяльності.* 2010. № 3. С. 3–10.

13. Федоров О.Г. Безпека життєдіяльності та цивільний захист населення. *Безпека життєдіяльності.* 2010. № 9. С. 10–11.

14. Храмов В.Л. Цивільний захист в 21 столітті. *Безпека життєдіяльності.* 2010. № 12. С. 22–24.

15. Weiss R., Guchlerner L., Weissgerber T., Filmann N., Haake B., Zacharowski K., Wolf T., Wicker S., Kempf V.A.J., Ciesek S., Stöver T., Diensthuber M. Powered air-purifying respirators used during the SARS-CoV-2 pandemic significantly reduce speech perception. *J. Occup. Med. Toxicol.* 2021. Vol. 16. An 43. DOI: 10.1186/s12995-021-00334-y

16. Naggar N. Modelling and Simulation of Pressure Controlled Mechanical Ventilation System. *J. Biomed. Sci. Eng.* 2015. Vol. 8, N 10. P. 707-716. DOI: 10.4236/jbise.2015.810068

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році К.: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, LAT & K. 2019. С. 184.

2. Munteanu V., Vlad M., Balint L. Experimental Model for Pollutants Monitoring into the Coke-Chemical Plant. *The Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati. Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science.*

2009. Vol. 32, N 2. P. 106–111.

3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT & K. 2015. С. 226.

4. Zbykovskyy Y., Shvets I. Investigation for a Sustainable Use of Fossil Coal Through the Dynamics of Interaction of Smokeless Solid Fuel with Oxygen and the Possibilities of Its Practical Application. In: Boichenko S., Yakovlieva A., Zaporozhets O., Karakoc T.H., Shkilniuk I. (eds) *Chemmotological Aspects of Sustainable Development of Transport. Sustainable Aviation*. Springer, Cham. 2022. P. 167–186. DOI: 10.1007/978-3-031-06577-4\_9

5. Наказ МОЗ України “Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони” № 1596 від 14.07.2020

6. ДСП-201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). МОЗ України N 201 від 9 липня 1997 р.

7. Müller H. Sulfur Dioxide. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley. 2000. DOI: 10.1002/14356007.a25\_569

8. Khoma R.E., Vodzinskii S.V., Klimov D.G. Impregnated activated carbon materials for respiratory purposes. I. Chemisorption of sulfur dioxide. *Укр. хім. журн.* 2023. Т. 89, № 10. С. 124–144. DOI: 10.33609/2708-129X.89.10.2023.124-144

9. Гельмбольдт В.О., Хома Р.Є., Еннан А.А. Органічні основи у процесах уловлювання та утилізації оксиду сірки (IV) (огляд). *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2008. № 4. С. 51–58.

10. Хома Р.Є., Еннан А.А.-А. Молекулярні комплекси оксиду сірки (IV) з N,O-вмісними органічними основами (огляд). *Вісник ОНУ. Хімія*. 2016. Т. 21 № 3. С. 42–50. DOI: 10.18524/2304-0947.2016.3(59).7951

11. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є. Імпрегновані волокнисті

хемосорбенти кислих газів респіраторного призначення. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2017. Т. 22, № 4. С. 53–68. DOI: 10.18524/2304-0947.2017.4(64).115924

12. Хома Р.Є. Кислотно-основна взаємодія та сульфоокиснення при хемосорбції оксиду сульфуру (IV) водними розчинами алкіламінів. Дис. ... докт. хім. наук: 02.00.01. Київ, 2019. 427 с.

13. Ennan A.A.-A., Dlubovskii R.M., Khoma R.E. Non-woven ion-exchange fibrous materials in air sanitary cleaning. *Укр. хім. журн.* 2021. Т. 87, № 7. С. 11–32. DOI: 10.33609/2708-129X.87.07.2021.11-32

14. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Захаренко Ю.С., Беньковська Т.С., Абрамова Н.М. Вплив модифікуючих добавок на хемосорбцію SO<sub>2</sub> імпрегнованими волокнистими матеріалами. *I Міжн. наук.-практ. конф. "Актуальні проблеми безпеки на транспорті, енергетики, інфраструктури"*. (8 – 11 вересня 2021 р.) Херсон, 2021. С. 56–60.

15. Khoma R.E., Ennan A.A.-A., Bienkovska T.S., Dlubovskii R.M., Vodzinskii S.V., Mykhailova T.V. The impregnated fibrous chemisorbents for colorimetric detection of the sulfur dioxide. *Укр. хім. журн.* 2022. Т. 87, № 1. С. 35–48. DOI: 10.33609/2708-129X.88.01.2022.35-48

16. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Захаренко Ю.С., Беньковська Т.С., Книш І.М. Моно- та біфункціональні імпрегновані волокнисті хемосорбенти респіраторного призначення. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2022. Т. 27, № 1. С. 6–36. DOI: 10.18524/2304–0947.2021.4(80).248297

17. Хома Р.Є., Абрамова Н.М., Кіро С.А., Книш І.М. *Захист органів дихання від дії аміаку*. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2022. Т. 27, № 2. С. 93-107. DOI: 10.18524/2304–0947.2022.2(82).264892

18. Gad S.C. Sulfur Dioxide. *Encyclopedia of Toxicology*. Elsevier, 2014. Vol. 4. P. 420–423. DOI: 10.1016/B978-0-12-386454-3.01256-2

19. Uren N, Yuksel S, Onal Y. Genotoxic effects of sulfur dioxide in

human lymphocytes. *Toxic. Ind. Health.* 2014. Vol. 30, N 4. P. 311-315. DOI: 10.1177/0748233712457441

20. Zaki E.I., EL-Mahdy A.R., EL-Gamal H.M., El-Seedy A.S. Cytogenetic and testicular histological alterations induced by sulphur dioxide in dried apricot leather. *Cellular Mol. Biol.* 2021. Vol. 67, N 2, Issue 2. P. 66–75. DOI: 10.14715/cmb/2021.67.2.10

21. Kim Y.-S., Hwang T.-S., Lee H.-K., Park J.-W., Kim S.-M. Removal of Toxic Gases on Strong/and Weak-Base Anion Exchange Fibers. *J. Ind. Eng. Chem.* 2004. Vol. 10, N 4. P. 504–510.

22. Kosandrovich E.G., Soldatov V.S. *Fibrous Ion Exchangers. Ion Exchange Technology I. Theory and Materials.* Springer 2012. Vol. 22. P. 299–371. DOI: 10.1007/978-94-007-1700-8\_9

23. Патент України на корисну модель UA73387, МПК В01D 39/16 *Склад для просочування фільтруючого матеріалу.* Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Шевцова Н.І., Короева Л.В., Гельмбольдт В.О. № u201201951; заявл. 21.02.2012; опубл. 25.09.2012, Бюл. № 18.

24. Патент України на корисну модель UA85878, МПК В01D 39/00 *Склад для просочування фільтруючого матеріалу.* Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.Н. № u201304341; заявл. 08.04.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23.

25. Патент України на корисну модель UA133559, МПК В01D 39/00 *Склад для просочування фільтруючого матеріалу.* Еннан А.А., Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М. № u201811395; заявл. 19.11.2018. Опубл. 10.04.2019, Бюл. № 7.

26. Патент України на корисну модель UA 115533, МПК В01D39/00. *Склад для просочування фільтруючого матеріалу* Еннан А.А., Хома Р.Є., Галак А.В., Длубовський Р.М., Абрамова Н.М. № u201608800; заявл. 15.08.16, опубл. 25.04.17, Бюл. № 8.

27. Патент України на корисну модель UA94661, МПК В01D 39/00 *Склад для просочування фільтруючого матеріалу.* Еннан А.А.-А., Хома

Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.Н., Наумчак В.А. № u201405986; заявл. 02.06.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22.

28. Патент України на корисну модель UA147596, МПК В01D 39/00 Спосіб просочування фільтруючого матеріалу Еннан А.А.-А, Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.М. № u202006340; заявл. 30.09.2020; опубл. 27.05.2021. Бюл. № 21.

29. Патент України на корисну модель UA144039, МПК В01D 39/00 Склад для просочування фільтруючого матеріалу Еннан А.А.-А, Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.М. № u202002248; заявл. 06.04.2020; опубл. 25.08.2020. Бюл. № 16.

30. Патент України на корисну модель UA135210 МПК В01D 39/00, D06M 11/00. Склад для просочування волокнистого матеріалу. Еннан А.А., Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М. № u201812908; заявл. 26.12.2018; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 12.

31. Патент України на корисну модель UA143862 В01D 39/00, В01D 37/00Просочуючий склад для одержання хемосорбенту Еннан А.А., Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М. u202002240; заявл. 06.04.2020; опубл. 10.08.2020. Бюл. № 15.

32. Патент України на корисну модель UA143600, МПК В01D 39/00 Склад для просочування фільтруючого матеріалу Еннан А.А.-А, Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М. № u201912043; 19.12.2019; опубл. 10.08.2020. Бюл. № 15.

33. Патент України на корисну модель UA143601, МПК В01D 39/00 Склад для просочування фільтруючого матеріалу Еннан А.А.-А, Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М. № u201912044; 19.12.2019; опубл. 10.08.2020. Бюл. № 15.

34. Патент України на корисну модель UA113021, МПК В01D 39/00.Склад для просочування фільтруючого матеріалу Еннан А.А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.М. № u201606322; заявл. 10.06.16, опубл. 10.01.17, Бюл. № 1.

35. Патент України на корисну модель UA121424, МПК В01D 39/00, D06M 13/00, C07C 229/16 Склад для просочування фільтруючого матеріалу Еннан А.А.-А, Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М. № u201704528; заявл. 10.05.17, опубл. 11.12.17, Бюл. № 23.

36. Патент України на корисну модель UA149123. МПК В01D 39/00, А61D 9/00. Спосіб отримання хемосорбційного матеріалу. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М., Беньковська Т.С. № u202102500; заявл. 12.05.2021; опубл. 20.10.2021. Бюл. № 42.

37. Еннан А.А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М., Михайлова Т.В., Барбалат Д.О. Вплив модифікуючих добавок на хемосорбцію оксиду сірки(IV) волокнистим матеріалом, імпрегнованим поліетиленполіаміном. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2020. Т. 25, № 4. С. 56–73. DOI: 10.18524/2304-0947.2020.4(76).216927

38. ДСТУ EN 14387:2017 (EN 14387:2004 + A1:2008, IDT). Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри протигазові та фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017.

55. Miles L.F., Makar T., Oughton C.W., Peyton P.J. Ventilatory parameters measured during a physiological study of simulated powered air-purifying respirator failure in healthy volunteers. *Anaesthesia Intensive Care*. 2021. Vol. 49, N 3. P. 206–213. DOI: 10.1177/0310057X20978982

56. Serna L.Y., Mañanas M.A., Hernández A.M., Rabinovich R.A. An Improved Dynamic Model for the Respiratory Response to Exercise. *FrontiersPhysiol*. 2018. Vol. 9. An 69. DOI: 10.3389/fphys.2018.00069

57. Губський А.І. Цивільна оборона. Підручник для вищих учбових закладів. Київ: Міністерство освіти. 1995. 215 с.

58. Рябчук О.Г., Савеко М.Є. Сильнодіючі отруйні речовини (властивості, методика прогнозування і захист від СДОР). Київ: ЗАТ Українська технологічна група, 2001. 150 с.

59. Slavinskyi D., Bilko T., Cheberyachko Yu., Cheberyachko S.,



Deryugin O. Improvement of the design of the motorized filter respirator. *MachineryEnerg.* 2023. Vol. 14, N 1. P. 24-35. DOI: 10.31548/machinery/1.2023.24.

60. Пожежна безпека. Протипожежні вимоги в галузі проектування та будівництва. Т. 6. Київ, 2000. 512 с.

61. Рожков А.П. Пожежна безпека: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти України. Київ: Пожінформтехніка, 1999. 256 с.

62. Безпека людини у життєвому середовищі. Під ред. В.І. Голінька. Дніпропетровськ: Видавництво Національного гірничого університету, 2008. 189 с.

63. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников С.В. Основи охорони праці. Навчальний посібник. Вид. 4-те. доповнене. Львів: Афіша, 2000. 50 с.

64. Han B., Butterly C., Zhang W., He J.-z., Chen D. Adsorbent materials for Ammonium and ammonia removal: A review. *J. Cleaner Prod.* 2021. Vol. 283. An 124611. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124611

65. Zhao Z., Wang B., Theng B.K.G., Lee X., Zhang X., Chen M., Xu P. Removal performance, mechanisms, and influencing factors of biochar for air pollutants: a critical review. *Biochar.* 2022. Vol. 4, N 1. P. 2–24. DOI: 10.1007/s42773-022-00156-z

66. Bamdad H., Hawboldt K., MacQuarrie S. A review on common adsorbents for acid gases removal: Focus on biochar. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2018. Vol. 81. P. 1705–1720. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.261

67. Genis A.V., Kuznetsov A.V. Perspective Developments In The Production Of Fibrous Polymeric Sorbents. *Russ. Chem. J.* 2019. Vol. 63, N 1, P. 27-45. DOI: 10.6060/rcj.2019631.2

68. Garipov I., Khaydarov R., Gapurova O., Khaydarov R., Evgrafova S. The Application of Fiber Ion Exchange Sorbents for Wastewater Treatment and Purification of Gas Mixtures. *J. Energ. Env. Chem. Eng.* 2020. Vol. 5, N. 1.

P. 10–13. DOI: 10.11648/j.jeece.20200501.12

69. Marinina O.N., Burkhanova R.A., Marinin N.A. Investigation into the Regularities of Hydrogen Fluoride Collection by the Developed Fibrous Ion-Exchange Material Under Dynamic and Static Conditions. *IOP Conference Series: Mater. Sci. Eng.* 2021. Vol. 1079, N 5. P. 052081. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/5/052081

70. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. Improving the performance of filters for personal respiratory protection. *Russ. J. Occup. Health Ind. Ecol.* 2021. Vol. 61, N 8. P. 497–502. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-8-497-502

71. MultiVapor™ Version 2.2.5 Application. DHHS (NIOSH) Publication No. 2010-124C. Centers for Disease Control and Prevention. 2018. URL: <https://multivapor.software.informer.com/2.2/>

72. Kosandrovich E.G., Soldatov V.S., Shachenkova L.N. Indicator materials based on fibrous ion exchangers for visualizing of the sorption resource of the chemical air cleaning filters. *Proc. National Acad. Sci. Belarus. Chem. Ser.* 2020. Vol. 56, N 2. P. 143–149. DOI: 10.29235/1561-8331-2020-56-2-143-149

73. Brochocka A., Nowak A., Zajączkowska H., Sieradzka M. Chemosensitive Thin Films Active to Ammonia Vapours. *Sensors.* 2021. Vol. 21, N 9. P. 2948. DOI: 10.3390/s21092948.

74. Bazaluk O., Cheberiachko S., Cheberiachko Y., Deryugin O., Lozynskiy V., Knysh I., Saik P., Naumov M. Development of a dust respirator by improving the half mask frame design. *Int. J. Env. Res. Public Health.* 2021. Vol. 18, N 10. An 5482. DOI: 10.3390/ijerph18105482

75. Vishnyakov V.I., Kiro S.A., Oprya M.V., Chursina O.D., Ennan A.A. Numerical and experimental study of the fume chemical composition in gas metal arc welding. *Aerosol Sci. Eng.* 2018. Vol. 2, N 3. P. 109–117. DOI: 10.1007/s41810-018-0028-2

76. Голінько В.І., Чеберячко С.І., Клімов В.Г. Про проблеми застосування евакуаційних апаратів (частина 1). *Охорона праці і пожежна*

*безпека*. 2019. № 1. С. 38–42.

77. Otrisal P., Bungau C., Obsel V., Melicharik Z., Tont G. Selected Respiratory Protective Devices: Respirators and Significance of Some Markings. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, N 9. An 4988. DOI: 10.3390/su13094988.

78. Голінько В.І., Чеберячко С.І, Клімов В.Г. Про проблеми застосування евакуаційних апаратів (частина 2). *Охорона праці і пожежна безпека*. 2019. № 2. С. 50-55.

79. Rashid M.H. Electric Renewable Energy Systems. Academic Press, 2016. 577 p. DOI: 10.1016/c2013-0-14432-7

80. Hu X. From Coal Mining to Coal Chemicals? Unpacking New Path Creation in an Old Industrial Region of Transitional China. *Growth Change*. 2017. Vol. 48. N 2. DOI: 10.1111/grow.12190

81. Li J., Hu S. History and future of the coal and coal chemical industry in China. *Resour. Conservation Recycl.* 2017. Vol. 124. P. 13–24. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.03.006

82. Energy Efficiency Improvements in Smart Grid Components. Ed. by Eissa M.M. 2015. 350 p. DOI: 10.5772/58493

83. Talus K. The International Dimension of EU Energy Law and Policy. *In EU Energy Law and Policy: A Critical Account*. 2013. P. 212–268. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199686391.003.0006

84. Hamanaka A., Su F., Itakura K., Takahashi K., Kodama J., Deguchi G. Effect of Injection Flow Rate on Product Gas Quality in Underground Coal Gasification (UCG) Based on Laboratory Scale Experiment: Development of Co-Axial UCG System. *Energ.* 2017. Vol. 10, N 2. An 238. DOI: 10.3390/en10020238

85. Mocek P., Pieszczyk M., Świądrowski J., Kapusta K., Wiatowski M., Stańczyk K.. Pilot-scale underground coal gasification (UCG) experiment in an operating Mine “Wieczorek” in Poland. *Energ.* 2016. Vol. 111. P. 313–321. DOI: 10.1016/j.energy.2016.05.087

86. *Economics of Natural & Environmental Resources* (Routledge Revivals). Ed. by Smith V. London: Routledge, 2013. 520 p. DOI: 10.4324/9780203760666

87. Kim S.-Y., Bae J.-H., Lee J.-W., Heo C.-H. Review of the Current Policy Related to Exploration and Development of Mineral Resources in China. *Econ. Env. Geol.* 2016. Vol. 49, N 3. P. 201-212. DOI: 10.9719/eeg.2016.49.3.201

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ

#### **2.1 Загальні принципи створення нових фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання**

Захист органів дихання від аерозолів залишається актуальною проблемою. Вирішення цієї проблеми великою мірою залежить від правильного використання якісних одноразових або багаторазових респіраторів. Ефективність їх застосування залежить від фізико-хімічних властивостей фільтруючих та сорбційно-фільтруючих матеріалів і конструкції півмаски респіратора, яка повинна забезпечити надійну ізоляцію органів дихання працівника від потрапляння шкідливих речовин.

Процес конструювання захисних засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) можна охарактеризувати як комплекс робіт з проведення пошуку ідей, принципів, відповідних розрахунків та досліджень спрямованих на забезпечення заданих характеристик та розробки технічної документації, необхідної для створення і виготовлення нового продукту відповідно до вимог технічного завдання. Цей процес можна подати у вигляді чотирьох стадій: проектної, підготовчої, виробничої, та поствиробничої оцінки відповідності [1]. На проектній стадії виконуються маркетингові й передпроектні дослідження і формується інформація для підготовчої стадії, на якій виконується організаційно-економічна підготовка виробництва і підготовка матеріалів. Конструювання ЗІЗОД на даний час у більшості випадків виконується евристичними методами, які ґрунтуються переважно на ерудиції та інтуїції розробників, досвіді попередніх розробок, баз даних про відомі аналоги. Тому він може бути представлений наступною схемою, яка відображає основні етапи проектування (рис. 2.1).

Якість конструкцій ЗІЗОД визначається експлуатаційними характеристиками складових елементів, які повинні відповідати зазначеним вимогам вказаним у нормативних документах. Найбільш важливими є наступні [2]:

- Показники ефективності фільтруючих елементів, які визначаються за функціональним призначенням ЗІЗОД, включають коефіцієнт проникання та пиломісткість.
- Ергономічні параметри вузлів клапанних систем вдиху-видиху, області обтюрації, елементів кріплення лицьової частини включають опір вдиху та видиху, вміст діоксиду вуглецю у вдихнутому повітрі, відповідність лицьової частини антропометричним розмірам обличчя, областям видимості та чіткості мови.
- Показники надійності, такі як можливість збереження властивостей протягом задекларованого терміну зберігання, включають час захисної дії.

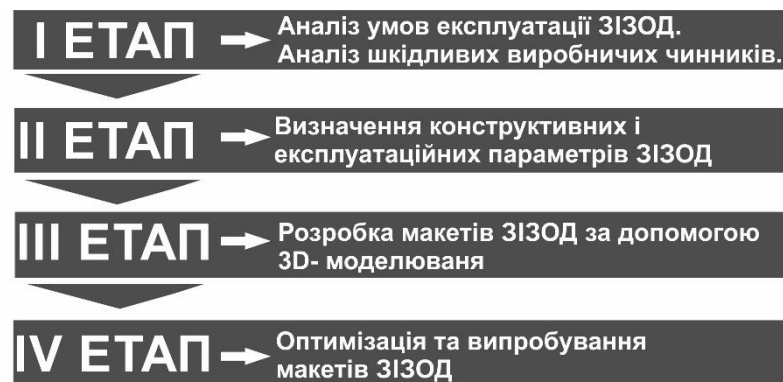


Рисунок 2.1 – Основні етапи існуючого алгоритму розробки нових ЗІЗОД

Досягнення заданих показників якості можливе тільки при використанні відповідних основних та допоміжних матеріалів, при умові їх переробки у виробу відповідно до розроблених технологічних прийомів з подальшим контролем отриманих технічних характеристик в процесі лабораторних випробувань, виконанням коригувальних дій при їх відхиленні від запланованих технічних завдань.

В фільтрувальних ЗІЗОД захист органів дихання забезпечується трьома процесами:

- ізолюванням органів дихання від навколишнього середовища [3, 4];
- уловлюванням аерозолів різного походження (пил, дим, туман) фільтрувальними елементами;
- очищенням повітря від газів та парів хемосорбентами, іонообмінними матеріалами, активованими вуглецевими волокнистими матеріалами та каталізаторами.

Отже, фільтруючі ЗІЗОД, відповідно до свого функціонального призначення, повинні забезпечувати очищення вдихуваного повітря від небезпечних речовин до концентрації, яка не перевищує гранично допустиму. Принцип захисту у них базується на обов'язковій ізоляції органів дихання від навколишнього середовища, використання матеріалів, що забезпечують очистку повітря від аеродисперсних *частинок* різного походження (пил, дим, туман), газів або парів. В табл. 2.1 наведено дані стосовно підбору конструктивних елементів респіраторів, виходячи із поставленого завдання – захисту користувачів від конкретного шкідливого чинника.

Як видно з табл. 2.1 на захисні та ергономічні властивості ЗІЗОД впливають конструктивні елементи лицьової частини фільтрувальних коробок та властивості основних та допоміжних фільтрувальних матеріалів.

Наведений підхід розробки ЗІЗОД довготривалий і призводить до ситуацій, коли спроектована і виготовлена півмаска морально застаріла і не відповідає швидкозмінним умовам. Тому відомі виробники широко використовують для проектування півмасок респіраторів сучасні комп'ютерні технології графічного моделювання, при цьому алгоритм розробки нових ЗІЗОД має п'ять послідовних етапів [5].

### Основні технічні завдання при розробці конструкцій ЗІЗОД

Шкідливі чинники	Аеродисперсні частини різного походження (пил, дим, туман), токсичні гази і пари
Елементи фільтруючих ЗІЗОД, які забезпечують захист від шкідливих чинників	Обтюратори різних конструкцій, у тому числі шийні; фільтруючі елементи вузли клапанів вдиху і видиху; елементи фіксації.
Принцип дії	Ізоляція підмаскового простору; фільтрація, у тому числі по смузі обтюрації, герметичність за рахунок щільного прилягання пелюстка клапанів видиху і вдиху до сидловини
Матеріали	Повітронепроникні матеріали (гума, силікон, поліетилен та ін.); фільтруючі матеріали (ІВХС-І, вуглецеві волокнисті матеріали, каталізатори низькотемпературного окиснення, фільтрувальні матеріали); допоміжні матеріали.
Контрольні показники	Коефіцієнт підсосу: - через смугу обтюрації; - через клапани вдиху і видиху. Коефіцієнт проникання через фільтруючий матеріал. Час захисної дії.

1. Дослідження антропометричних характеристик облич користувачів, для чого останнім часом широко використовують 3D сканування з відповідною обробкою для визначення реальних розмірів (наприклад можна скористатись методом «Active Shape Models», або метод об'єднаних моделей), а для визначення взаємозв'язку між нормаллю  $l$  і площиною  $\pi$  необхідно задати параметри камери сканера і проектора їх розміщення (рис. 2.1) з матричного рівняння [6]:

$$[0,1 - d(i)] \times Pp [x, y, z]^T = 0 \quad (2.1)$$

де  $Pp$  – проекційна матриця проектора;  $(x, y, z)$  – координати точки, які належать нормалі,  $T$  – кількість проекцій.

2. Побудова цифрових моделей голови користувачів декількох типорозмірів з визначеними координатами ключових параметрів за якими будується поверхня півмасок, найбільш впливовими є ширина і довжина обличчя, висота носа, довжина губ; на одержаній хмарі точок відсканованого зображення голови з попередньо визначними координатами пікселів наносимо розмітку на зображення. Вона представляє набір векторів  $d = (d_1, d_2, \dots, d_n)$  елементами, яких є індекси вершин  $d_i$  базової полігональної моделі



[7]; вектори задаються ломаною, яка проходить через вершини моделі; кожна ломана описує одну характерну рису обличчя (рис. 2.2);

3. Побудова 3D поверхні півмаски за допомогою NURBS- поверхонь, B- сплайнів або за рахунок іншого цифрового інструментарію і відповідного програмного забезпечення; важливим етапом є уніфікація конструкцій за схожими антропометричними даними, функціональним призначенням; побудована поверхня може бути декілька разів перетворена в різні моделі: «Polygon», «CAD- модель», «FE- модель», в яких більш детально відпрацьовуються кожен елемент конструкції для одержання максимальної точності зображення і відповідності розмірам обличчя (рис. 2.3);

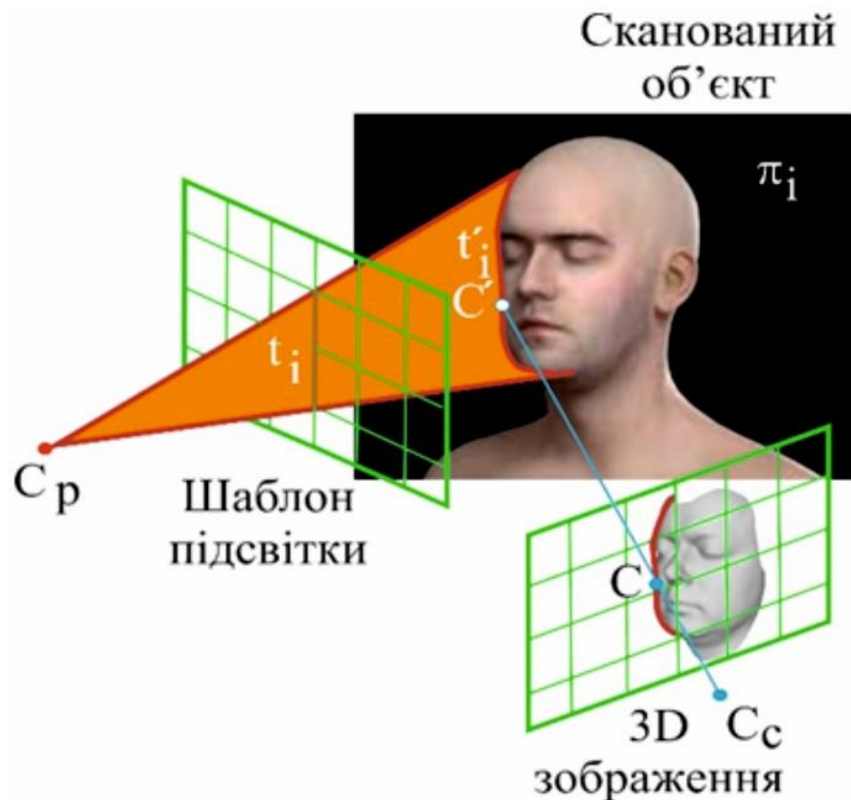


Рисунок 2.2 – Схема побудови моделі оптичної триангуляції:  $C_p$  і  $C_c$  - оптичні центри проектора і камери

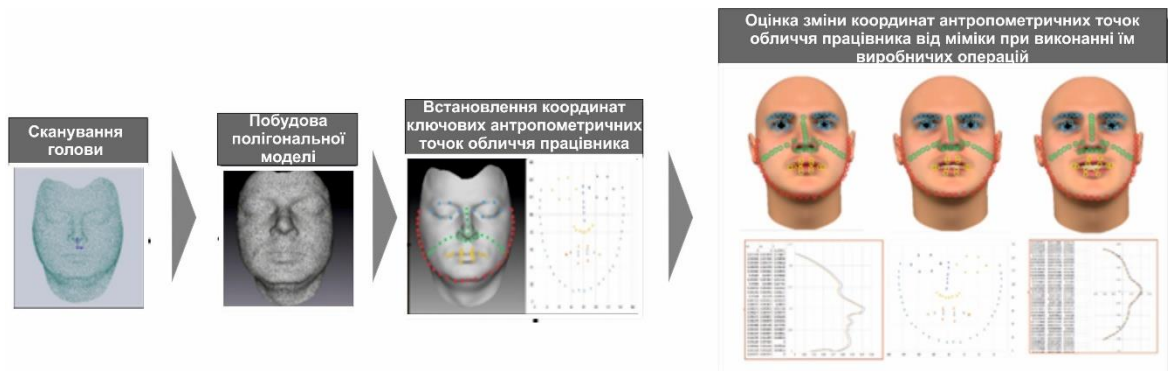


Рисунок 2.3 – Етапи визначення координат антропометричних точок обличчя працівника

4. Підбір відповідного пакету фільтрувальних матеріалів для виготовлення півмаски респіратора, наприклад – поліфункціональних хемосорбентів для уловлювання токсичних газів та парів або фільтрів із заданим терміном захисної дії відповідно до умов експлуатації для фільтрувальних півмасок на даному етапі можливий розрахунок їх каркасів на міцність та еластичність для забезпечення можливості тримати форму під час процесу вдихання та змінювати геометрію відповідно до антропометричних відмінностей обличчя (наприклад у програмі «ANSYS», можна зробити симулювання руху повітря, проаналізувати вплив на півмаску температури, тиску, механічної деформації та притискних зусиль) для еластомерних півмасок виникає необхідність у розрахунку розмірів фільтрувальної коробки: діаметра, товщини та розміру вихідного отвору, оскільки це впливає на розподіл повітряних потоків у середні фільтра, а в результаті забезпечує заданий термін захисної дії (рис. 2.4, рис. 2.5).

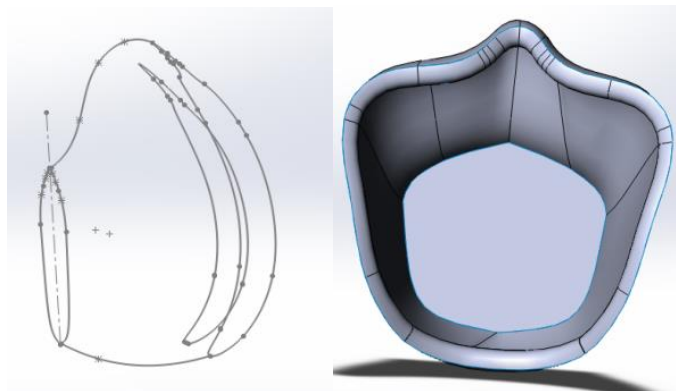


Рисунок 2.4 – Етапи побудови «NURBS»- моделі півмаски респіратора

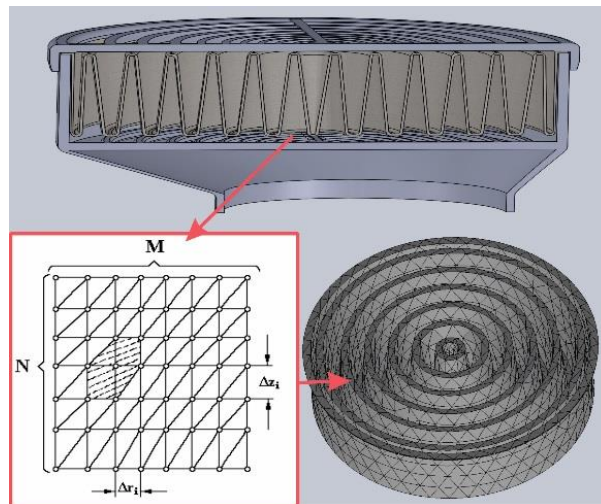


Рисунок 2.5 – Модель для розрахунку фільтрувальної коробки з фільтром респіратора

5. Розробки проектно-конструкторської документації. Додатково в даному алгоритмі передбачена можливість створення макету півмаски респіратора, де ключовим є встановлення необхідних найважливіших точок за якими можна отримати контур еластомерної півмаски. Зараз використовується метод компонентів, який базується на десяти різних параметрах обличчя користувачів, які потім використовують для розрахунку комплексних показників – так званих компонентів PC1 і PC2 [8].

**PC1** (перший компонент) =  $0.343264 * (\text{ширина голови у лоба}) + 0.426498 * (\text{ширина лиця}) + 0.372717 * (\text{ширина лиця за кутами нижньої щелепи}) + 0.329648 * (\text{довжина лиця}) + 0.363474 * (\text{відстань між бровами}) + 0.372241 * (\text{ширина голови}) + 0.113578 * (\text{висота носа}) + 0.301125 * (\text{ширина носа біля рота}) + 0.202311 * (\text{ширина перенісся}) + 0.193650 * (\text{довжина носа})$ .

**PC2** (другий компонент) =  $-0.152951 * (\text{ширина голови у лоба}) - 0.039087 * (\text{ширина лиця}) - 0.093279 * (\text{ширина лиця за кутами нижньої щелепи або глибина обличчя}) + 0.359799 * (\text{довжина лиця}) - 0.173099 * (\text{відстань між бровами}) + 0.013306 * (\text{ширина голови}) + 0.551842 * (\text{висота носа}) - 0.210833 * (\text{ширина носа біля рота})$ .

За даними компонентами всі типи обличчя користувачів поділяють на п'ять основних категорій: малі, короткі – широкі, середні, довгі і високі,

великі (рис. 2.6), за якими в подальшому формують вимоги до конструкції ЗІЗОД.

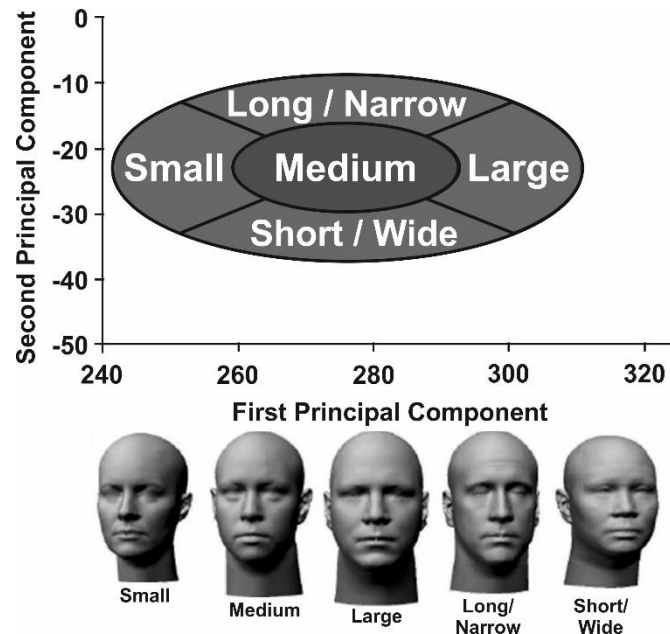


Рисунок 2.6 – Розподіл розмірів обличч користувачів на 5 категорій за компонентами PC1 і PC2 [8]

Зауважуючи, що з кожним роком підвищуються вимоги до захисту користувачів, а також конкурентну боротьбу між ведучими виробниками засобів індивідуального захисту органів дихання за ринки збуту, даний алгоритм необхідно постійно модернізувати і удосконалювати з метою скорочення часу виготовлення півмаски і підвищення якості кінцевого продукту. Тому при розробці фільтрувальних респіраторів важливо врахувати:

- особливості формування каркасу півмаски під час визначеного впливу комплексу факторів, які б враховували зміну антропометричних характеристик обличчя користувачів в тому числі за віком та статтю;
- параметри виробничого середовища (мікроклімат, якісний і кількісний склад небезпечних та шкідливих виробничих чинників, властивості сучасних матеріалів);
- режими використання (тривалість, циклічність, періодичність), важкість і напруженість діяльності користувачів з мінімізацією додаткових

ризиків, пов'язаних з електризацією і перегріванням користувачів під час виконання трудових завдань;

- взаємозв'язки між структурними елементами ЗІЗОД для забезпечення їх функціональної цілісності;

- оптимізаційні моделі ЗІЗОД за критеріями захисту, надійності та ергономічності з урахуванням вимог нормативних документів, що дає змогу подолати проблеми, які раніше не було вирішено.

Аналізуючи сучасні тенденції можна спрогнозувати, що покращення алгоритму розробки півмасок буде відбуватись в сфері пошуку нових ефективних методів з:

- швидкої обробки статистичних даних антропометричних параметрів обличч з метою побудови аутентичної цифрової моделі голови, яка б дозволяла враховувати у цифровому зображенні зміни рис обличчя користувачів за віком, статтю і національністю;

- коректної побудови 3D поверхней півмаски, які б дозволяли враховувати зміни індивідуальних рис людини для виготовлення обтюратора півмаски;

- перевірки якості респіраторів, як на етапі розробки, так і на етапі виготовлення проектного зразка, що дозволить вносити корективи у побудовану модель для забезпечення високої щільності прилягання;

- обрахунку часу захисної дії з урахуванням різних як кліматичних, так і експлуатаційних параметрів, що вимагає пошуку новітніх фільтрувальних матеріалів з відповідною індикацією їх властивостей;

- теоретичного розрахунку захисної ефективності респіраторів, що дозволить на етапі проектування провести оцінювання захисних властивостей респіраторів з урахуванням як функціональних, так і експлуатаційних параметрів.

Застосування сучасних підходів до проектування ЗІЗ дозволяє знизити витрати, зменшити строк виконання конструкторських робіт, а також забезпечити швидке і якісне виготовлення оснащення.

Зазначені ідеї можуть бути реалізовані шляхом розробки і вдосконалення фільтрувальних ЗІЗОД, які, відповідно до конструкторських рішень, можуть забезпечувати захист не тільки органів дихання, а й слуху, шкіри обличчя та шиї при умові відповідності вимогам нормативних документів (НД), перерахованих у ТЗ.

Виходячи із вище сказаного пропонується удосконалений алгоритм розробки масок, який відрізняється від існуючого наявністю двох додаткових етапів: перевірки захисних властивостей фільтрувальних ЗІЗОД на етапі проектування та розробки нових конструкцій фільтрів з подальшим тестуванням макетів для забезпечення відповідного коефіцієнту захисту (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Удосконалена процедура проектування півмасок

Якість конструкцій, що розробляються, як відомо, визначається характеристиками конструктивних елементів, які повинні відповідати зазначеним вимогам вказаним у нормативних документах. Найбільш важливими є наступні:

- показники призначення фільтруючих елементів, які визначаються функціональним призначенням ЗІЗОД: коефіцієнт проникання, час захисної дії;
- ергономічні показники вузлів клапанних систем вдиху-видиху, смуги обтюрації, елементів кріплення лицьової частини: опір вдиху та

видиху, вміст діоксиду вуглецю у вдихуваному повітрі, відповідність лицьової частини антропометричним розмірам обличчя, поля зору, розбірливість мови;

- показники надійності (можливість збереження властивостей протягом задекларованого терміну зберігання): час захисної дії, коефіцієнт проникання.

Досягнення запланованих показників якості можливе при використанні відповідних основних та допоміжних матеріалів, при умові їх переробки у виробі відповідно до розроблених технологічних прийомів з подальшим контролем отриманих технічних характеристик в процесі лабораторних випробувань, виконанням коригувальних дій при їх відхиленні від запланованих ТЗ.

Перелічені показники мають чисельні значення для кожного типу і класу моторованого фільтруючого респіратору (ФР) відповідно до вимог нормативної документації. Вибір ФР здійснюється на підставі визначення умов їх використання.

Відомо, що якість очистки повітря, що видихається, при однаковій інтенсивності дихання у всьому інтервалі вірогідних фізичних навантажень пропорційна витраченої енергії та подоланню опору. На підставі цього ФР класифікуються наступним чином [9]:

- ФР з фільтруючим корпусом лицьової частини (легкі протиаерозольні, полегшені протиаерозольні з клапанами і без них, газопилозахисні);

- ФР з корпусом лицьової частини з повітронепроникних матеріалів (протипилові, протигазові, газопилозахисні).

Основним елементом конструкції ФР, що визначає досягнення максимального захисту, є смуга обтюрації. Тому важливо розглянути можливості структур контакту корпусу лицьової частини з поверхнею обличчя в залежності від тиску, який можливий при їх контакті. Відомо, що ступінь герметичності контакту з обличчям визначається найменшим тиском.

Величина тиску на обличчя користувача умовно поділена на три інтервали: малого навантаження – до  $1...2 \cdot 10^3$  кПа ( $10 \text{ кгс/см}^2$ ), середнього – від  $1...2 \cdot 10^3$  кПа до  $2 \cdot 10^4$  кПа та високого – при тисках, які перевищують  $2 \cdot 10^4$  [10]. Тиск, що утворюються від дії смуги обтюрації на м'які тканини обличчя, складає величину порядку тисячної або меншої частинки верхнього ліміту малих навантажень. Такі навантаження в техніці відносять до «попереднього стискання» [11]. Тому, особливість контакту повітронепроникних корпусів лицьової частини з м'якими тканинами обличчя полягає в тому, що використання герметичності з високою надійністю впродовж тривалого перебування в ФР повинна досягатися за рахунок низького контактного тиску, тобто корпус лицьової частини повинен тільки торкатися обличчя.

Можливість забезпечення герметичності упродовж смуги обтюрації клапанів вдиху і видиху в кожному конкретному випадку вимагає перевірки. Авторами [12, 13] були впроваджені методики з застосуванням дактилоскопічної плівки. Отримані на ній відтиски ілюструють зображення контакту, що виникло, і на якому можна виділити точки контакту. При підсосі повітря проходить поміж виступів, що виникнули. Можна відзначити, що фактичний контакт на різних ділянках по всій смузі обтюрації буде різним. Отримані залежності пористості контакту на різних ділянках від тиску показують, що в області малих тисків пористість контакту знижується повільно. Це пояснюється тим, що при наближенні плівки під тиском усе більше мікровиступів входять з нею в контакт, не викликаючи значних стискань цих мікровиступів. На ділянці 2 мікровиступи при збільшенні тиску деформуються, збільшуючись по товщині, що супроводжується збільшенням щільності контакту. При цьому повітря між виступами витісняється через краї каналу. При високих тисках, що відповідають на графіку ділянці 3, щільність контакту сягає стану, за якого мікровиступи, з'єднуючись між собою, створюють замкнені зони, де повітря утворює ізольовані «бульбашки», що сплющуються під тиском оболонки та створюють на



відтиску вигляд збільшення пористості. За таких тисків утворення підсосу вже виключається.

Отримані висновки слід поєднувати з іншими процесами, що відбуваються в контактованому шарі. До них відносяться коливання корпусу лицьової частини під дією дихання та дією на контакт продуктів обміну речовин у шкірі обличчя. Перші змінюються за амплітудою в залежності від інтенсивності виконуваних навантажень та опору лінії вдиху і видиху від мінус 1,86...2,94 кПа (20...30 гс/см<sup>2</sup>) до плюс 0,686...0,98кПа (7...10 гс/см<sup>2</sup>). Другий вид процесів чинить тільки позитивну дію на щільність контакту та зниження підсосу.

## **2.2 Забезпечення ізолювання органів дихання масками від навколишнього середовища**

Ізолювання органів дихання від навколишнього середовища у ЗІЗОД здійснюється по смузі щільного прилягання їх лицьової частини до обличчя людини, яка називається смугою обтюрації, а також за допомогою клапанів видиху. Смуга обтюрації маски являє собою замкнутий контур і проходить через лоб, скроні, щоки, підборіддя; півмаски респіратора – через перенісся, щоки і підборіддя (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Межі смуг обтюрації лицевих частин ЗІЗОД

У справному і правильно підбраному ЗІЗОД надходження нефільтрованого повітря у підмасковий простір можливе тільки за смугою обтюрації і нещільності клапанів видиху на фазі вдиху. Таке надходження аерозолів, газів і/або парів токсичних речовин в підмасковий простір не викликано підсмоктуванням, рушійною силою якого є розрідження, створене при вдиху.

Розрідження дорівнює різниці атмосферного тиску і тиску в підмасковому просторі на фазі вдиху [14]:

$$P_{\text{атм}} - P_{\text{під}} = \mu v (R_{\text{к}} + R_{\text{кл}} + R_0), \quad (2.4)$$

де  $P_{\text{під}}$  – перепад тиску під маскою, Па;  $R_{\text{к}}$  – аеродинамічний опір фільтра;  $R_{\text{кл}}$  – аеродинамічний опір клапана видиху;  $R_0$  – аеродинамічний опір обтюратора;  $\mu$  – динамічна в'язкість повітря, Па с;  $v$  – швидкість руху повітря, м/с.

Таким чином, чисельне значення розрідження залежить від аеродинамічного опору фільтра ЗІЗОД, опору клапанів вдиху, а також від обсягу легеневої вентиляції (хвилинного обсягу дихання).

Підсмоктування також залежить від нещільностей як смуги обтюрації, так і клапанів видиху та їх інерційності. Для оцінки рівня ізоляційних властивостей використовують коефіцієнт ізолювання (КІ) під лицьову частину, який дорівнює відношенню концентрації парів (газів) і аерозолів, що надійшли у підмасковий простір за смугою обтюрації і клапанів видиху, до концентрації відповідно парів, газів і аерозолів у зовнішньому повітрі. Його визначають розрахунково. Для цього встановлюють загальну кількість забруднюючої речовини під маскою, виходячи з величин витрат повітря через фільтри і нещільності за смугою обтюрації, а також коефіцієнтів проникнення крізь фільтри і підсмоктування [15]:

$$C_i = C_0 (Q_{\text{ф}} K_{\text{П}} + Q_{\text{Пс}} K_{\text{Пс}}) t, \quad (2.5)$$

де  $t$  – час, хв;  $Q_{\text{ф}}$  – витрата повітря через фільтр,  $\text{дм}^3/\text{хв}$ ;  $Q_{\text{Пс}}$  – витрата повітря через зазори,  $\text{дм}^3/\text{хв}$ .

Звідси коефіцієнт захисту респіратора дорівнює:

$$K_3 = \frac{C_0}{C_i} = \frac{\left[1 + \frac{Q_{\text{Пс}}}{Q_{\phi}}\right]}{K_{\text{П}} + \frac{Q_{\text{Пс}}}{Q_{\phi}} K_{\text{Пс}}} \quad (2.6)$$

А з цієї формули можна отримати вираз для розрахунку коефіцієнта ізолювання:

$$K_i = \frac{\left[1 + \frac{Q_{\text{Пс}}}{Q_0}\right]}{K_{\text{Пс}}} \quad (2.7)$$

де відношення  $Q_{\text{Пс}}/Q_{\phi}$  – це показник щільності прилягання півмаски до обличчя. Ця величина залежить від конструкції обтюратора і розмірів обличчя.

Раніше проведені дослідження показали, що рух повітря через фільтр ламінарний, тому витрата повітря залежить від перепаду тиску лінійно [15]:

$$Q_{\phi} = k_{\phi} \Delta p, \quad (2.6)$$

де  $\Delta p$  – перепад тиску на фільтрі, Па;  $k_{\phi}$  – коефіцієнт опору фільтра,  $\text{м}^5/\text{Н}\cdot\text{с}$ .

З іншого боку витрата повітря через зазори також пов'язана з перепадом тиску за формулою [16]:

$$Q_{\text{Пс}} = k_{\text{Пс}} (\Delta p_1 - \Delta p), \quad (2.7)$$

де  $\Delta p_1$  – перепад тиску на респіраторі без зазорів, Па;  $k_{\text{Пс}}$  – коефіцієнт опору щілин за смугою обтюраторії,  $\text{м}^5/\text{Н}\cdot\text{с}$ .

Залежність показника щільності  $K_{\text{щ}}$  від перепаду тиску буде відображати витрату повітря через зазори. Тоді показник щільності прилягання півмаски до обличчя можна визначити за формулою:

$$K_{\text{щ}} = \frac{Q_{\text{Пс}}}{Q_{\phi}} = \frac{(\Delta p_1 - \Delta p) k_p}{\Delta p}, \quad (2.8)$$

де  $k_p = k_{\phi} / k_{\text{Пс}}$ .

Загалом, витрату через зазори можна визначити за формулою [17]:

$$Q_B = k_B (\Delta p)^a (d_B)^b, \quad (2.9)$$

де  $Q_B$  – витрата повітря через витоки за смугою обтюрації,  $\text{дм}^3/\text{хв}$ ;  $k_B$ ,  $a$ ,  $b$  – константи, які визначаються експериментально для кожного типу півмасок;  $d_B$  – розмір отворів між обтюратором і обличчям людини.

Аналіз вище наведених формул для визначення коефіцієнта ізолювання показує, що до основаних шляхів зменшення підсмоктування можна віднести:

- збільшення опору обтюратора, за рахунок розширення смуги обтюрації, рівномірного розподілу притискних зусиль, підвищення еластичності матеріалу обтюратора;
- зменшення інерційності клапана видиху за рахунок зміни його конструкції підбору відповідного розміру та матеріалу;
- введенням роздільної смуги обтюрації, яка б ураховувала особливості антропометричної будови обличчя;
- зменшення опору фільтрів за рахунок зміни конструкції фільтра і підбору відповідних фільтрувальних матеріалів.

Для визначення коефіцієнта ізолювання півмасок або масок можна скористатись експериментальною перевіркою величини підсмоктування забрудненого повітря, яка описана у відповідних стандартах. Для цього використовують спеціальні аерозолі хлориду натрію, масляного туману та інші. Відомі й інші методи подібних випробувань. Наприклад, за допомогою порівняння витрати повітря до можливих витоків за нещільністю обтюратора через визначення розрідження у підмасковому просторі.

### 2.3 Інноваційні рішення щодо збільшення коефіцієнта захисту засобів індивідуального захисту органів дихання

Високий рівень безпеки користувачів ЗІЗОД під час їх використання забезпечується за допомогою контролю:

- надійності фільтра під час експлуатації, що дозволяє вчасно виявити, коли фільтр втратив ефективність і потребує заміни.
- герметичності прилягання півмасок фільтрувальних респіраторів до обличчя користувача, що допомагає виявити виникнення щілин між лицем і півмаскою через розслаблення або зміщення стрічок наголів'я.
- постійного і своєчасного використання фільтрувального ЗІЗОД, що дозволяє визначити тривалість ефективного захисту користувача для обчислення експозиційної дози токсичних речовин, що потрапили до легень (наприклад, розрахунок величини пилового навантаження).

Вимоги щодо контролю за ефективністю використання ЗІЗОД переважно вирішуються шляхом включення до їх конструкції різноманітних індикаторів, які надають інформацію у реальному часі.

Початково такий підхід був застосований для моніторингу терміну захисної дії протигазових фільтрів. Оскільки реакція людини на запах шкідливих речовин у просторі під маскою є індивідуальною і може залежати від різних чинників, то важливо враховувати цю варіативність. Згідно досліджень, поріг сприйняття запаху у 95% людей знаходиться в межах від 16 до 1/16 від "середнього" значення. Таким чином, у 2,5% він може перевищувати середнє значення більш ніж у 16 разів. Наприклад, якщо деякі люди реагують на запах хлороформу при концентрації приблизно 1 ГДК, інші можуть не реагувати навіть при значно вищих концентраціях. Тому виробники запропонували конструкції фільтрів із спеціальними датчиками, що дозволяють виявляти забруднення повітря (ДІВФ).

На промисловому рівні впроваджені активні індикатори (рис. 2.9), які моніторять ступінь забруднення повітря та надають візуальний або аудіо

сигнал, а також пасивні, які змінюють колір поглиначів у залежності від насичення коробки шкідливим газом. Використання фільтрів з пасивною індикацією (рис. 2.10) значно знизило ризик отруєння користувача небезпечною концентрацією токсичних речовин, які можуть потрапити до легень.

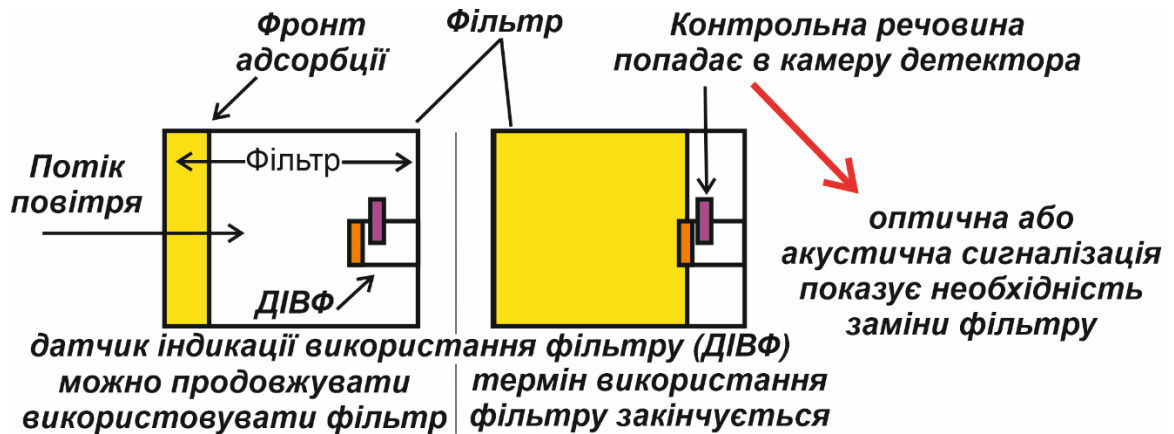


Рисунок 2.9 – Схема роботи активного індикатора для визначення терміну захисної дії протигазових фільтрів [17]

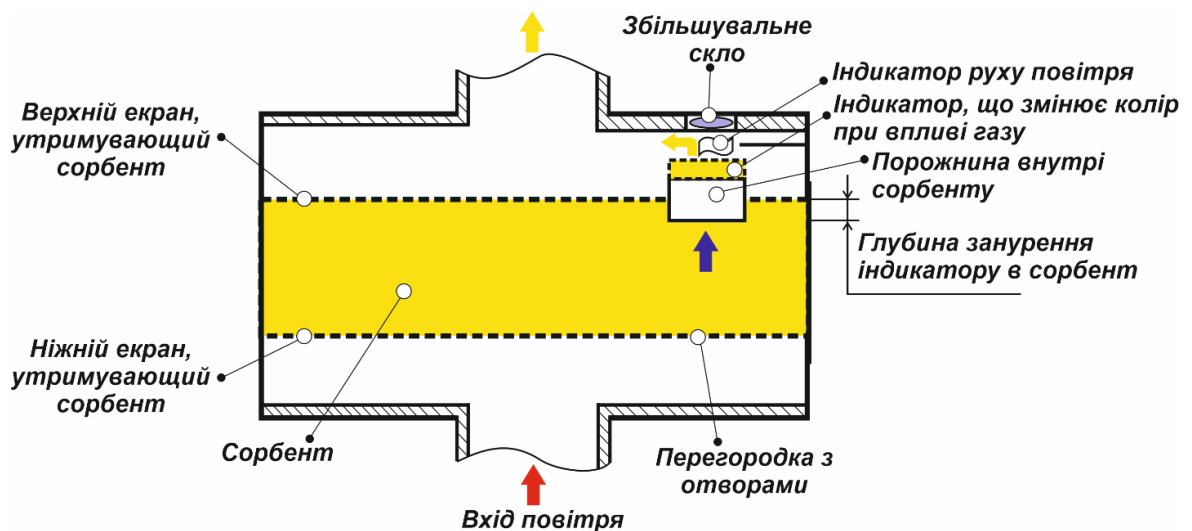


Рисунок 2.10 – Схема роботи пасивного індикатора для визначення терміну захисної дії протигазових фільтрів [17]

Нещодавно з'явилися нові конструкції протипилових фільтрів, які використовують контроль перепаду тиску (рис. 2.11 – 2.12). Цей підхід дозволяє встановити термін захисної дії фільтра, коли пил осідає на його поверхні, з урахуванням максимального припустимого опору повітряного

поток, який є прийнятним для користувача і не вимагає додаткових значних фізичних зусиль при диханні.

Крім того, контроль щільності прилягання півмаски до обличчя користувача можна забезпечити за допомогою датчика контролю перепаду тиску у підмасковому просторі фільтрувального ЗІЗОД. Цей датчик з'єднується одночасно з підмасковим простором та атмосферним повітрям, а його вихід підключений до блока керування та обробки інформації, який передає дані до блока сигналізації. У блоці керування та обробки інформації зберігаються дані про мінімальний і максимальний можливий початковий опір дихання фільтрів респіратора.

Якщо виявляється, що перепад тиску менше мінімального значення, це може свідчити про неправильне носіння півмаски або її сповзання, що потребує коригувальних заходів. У випадку перевищення граничного опору диханню, також буде подано сигнал про необхідність заміни фільтрів під час експлуатації респіратора.

Ще одним способом контролю за щільністю прилягання півмаски до обличчя є використання пасивного індикатора, який візуалізує недоліки прилягання через зміну кольору (рис. 2.10). Для цього у конструкції обтюратора використовуються перфоровані отвори, які заповнені темним латексом на зовнішньому шарі, де міститься термохроматичний пігмент (рис. 2.13). Після нагрівання, яке відбувається через теплообмін з поверхнею шкіри обличчя, пігмент змінює своє забарвлення. Таким чином, місця, де є недоліки прилягання, матимуть інше кольорове забарвлення, оскільки тепло менше проникає у ці області.

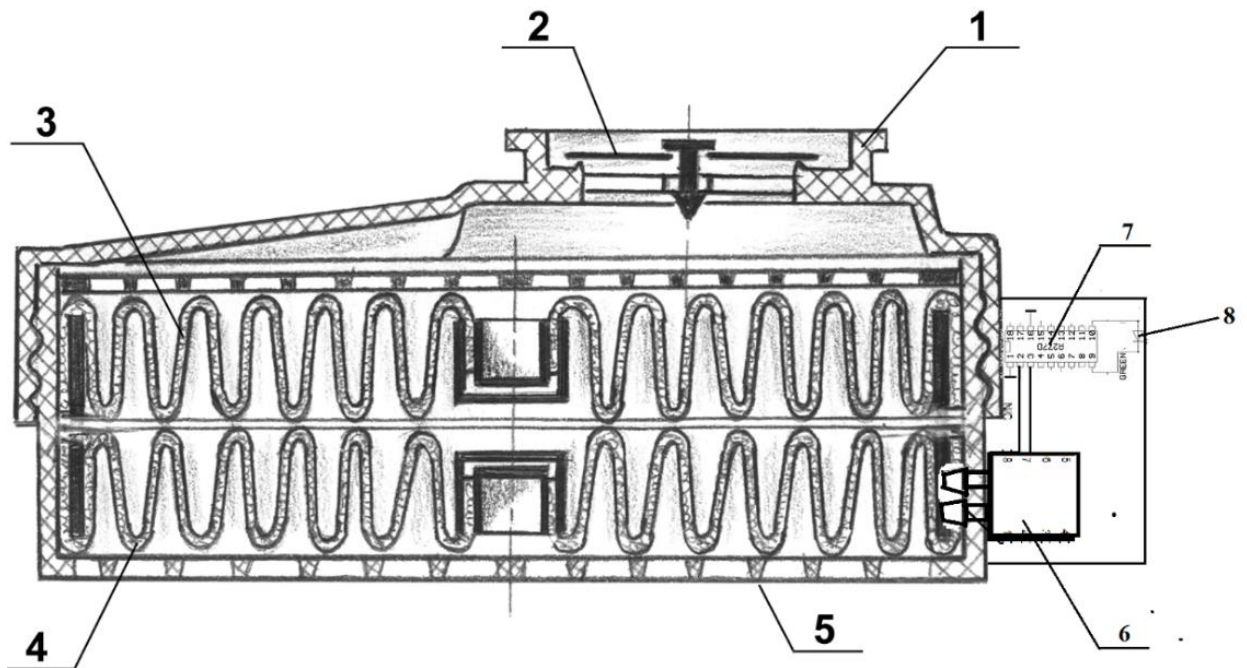


Рисунок 2.11 – Схема протипилового фільтра з датчиком тиску для визначення терміну захисної дії через встановлення граничної величини опору повітряному потоку: захисний екран 1, корпус 2, форфільтр 3, абсолютний фільтр 5, перегородка 4, кільцева прокладка 6, блок вимірювання тиску 7, датчик тиску 8, блок керування 9, індикатору тиску 10 [18]

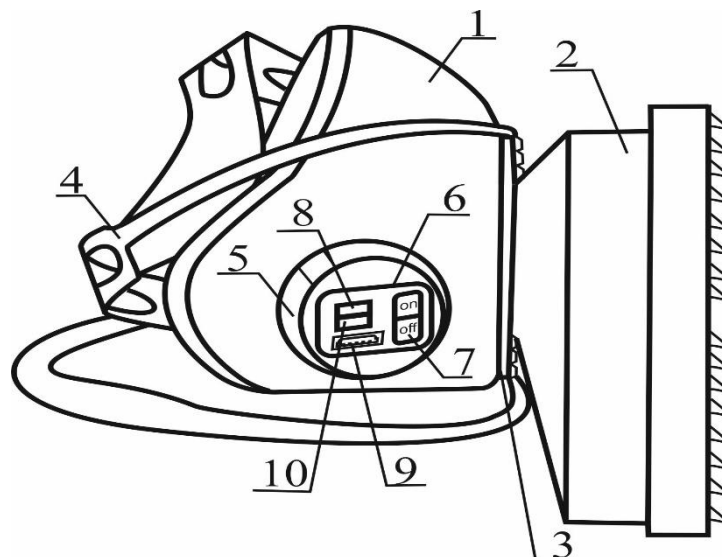


Рисунок 2.12 – Схема протипилового респіратора з датчиком перепаду тиску для контролю щільності прилягання півмаски до обличчя: півмаска 1; фільтрувальна коробка 2; спеціальний кріпильний гарнітур 3; наголів'я 4; клапан видихання 5; датчик тиску 6; тумблер 7; індикатори 8 [18]



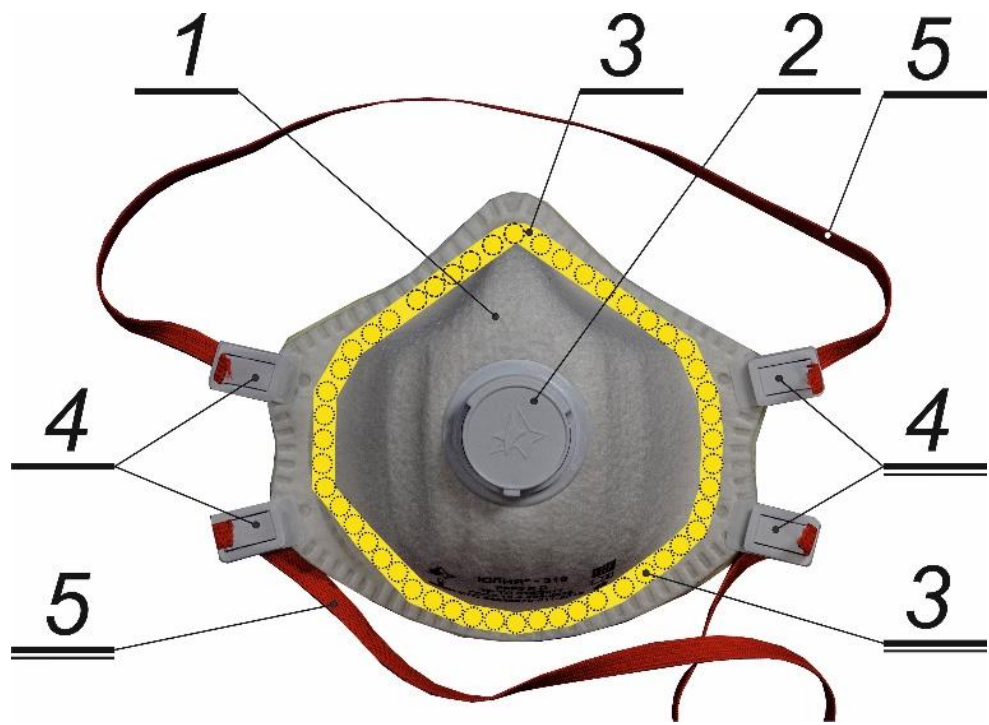


Рисунок 2.13 – Загальний вигляд фільтрувального ЗІЗОД з ефектом візуалізації місць нещільного прилягання обтюратора півмаски до обличчя користувача: півмаска 1; клапан видихання 2; обтюратор з плівкою темного латексу 3; притискний елемент 4; кріпильна гарнітура 5 [19]

Для постійного контролю сили натягу еластомерних стрічок респіратор можна вдосконалити, використовуючи блок індикації сили натягу (рис. 2.14). Респіратор з фільтром розміщується на обличчі та закріплюється еластомерними стрічками наголів'я (6), які мають блок візуалізації (7). Після вдягання респіатора на обличчя користувача, блок візуалізації використовує зміну кольорів, яку виявляє помічник, та звукову сигналізацію для визначення сили натягу. Принцип роботи блока ґрунтується на зміні електричного опору під час розтягування спеціального гнучкого датчика. Цей датчик з'єднаний з типовою схемою розділювача напруги, де до нього додається змінний резистор. Контролер оцінює сигнал і надає відповідний результат через світлові та звукові індикатори.

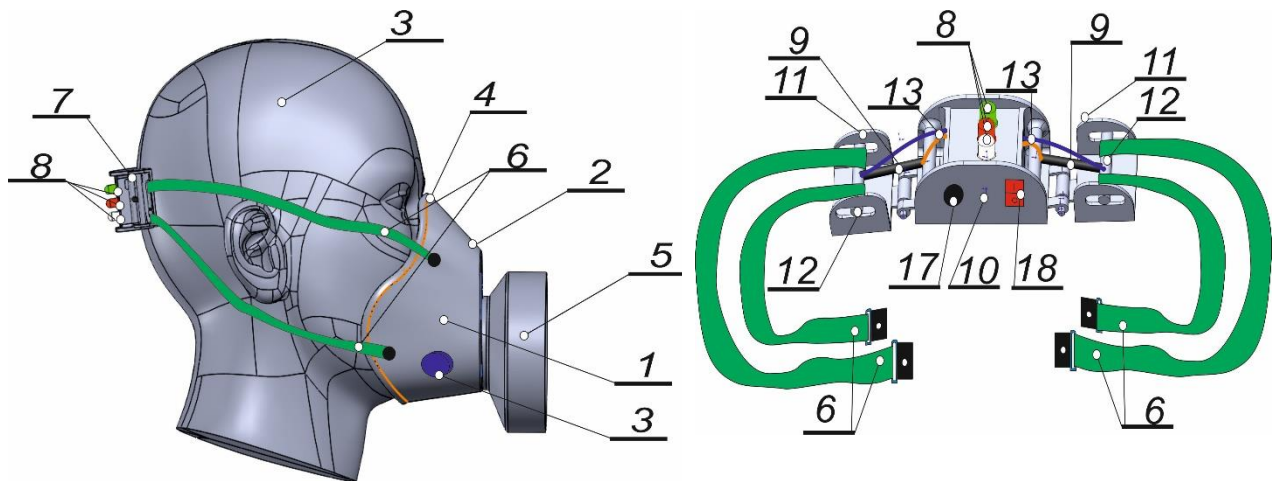


Рисунок 2.14 – Загальний вигляд фільтрувального ЗІЗОД з блоком візуалізації сили натягу еластомерних стрічок наголів'я: еластомірна півмаска (2) з вмонтованими клапанами видиху/вдиху (3), обтюратор (4), патрон з фільтрами (5), та еластомерні стрічки наголів'я (6), блок візуалізації сили натягу (7). Блок візуалізації сили натягу (7) складається світлових індикаторів (8), датчика (9), корпусу (10), з храпового механізму (11), кріплення для стрічок (12), шлейфу (13), контролеру arduino (14), контролеру (15) акумуляторної батареї (16), звукової сигналізації (17), кнопки увімкнення/вимкнення (18)

У результаті проведеної роботи, важливо зазначити, що роботодавець несе повну відповідальність за правильний вибір та експлуатацію ЗІЗОД, а також за їх правильне та своєчасне застосування на робочому місці. Проте, забезпечити належний рівень захисту користувачів без постійного контролю за виконанням встановлених вимог щодо застосування респіраторів складно через небажання або невміння користувачів. Це вимагає пошуку нових підходів для підвищення обізнаності користувачів щодо необхідності використання ЗІЗОД та застосування більш ефективних моделей, які можуть бути відстежені за їх роботою та показниками [19].

Як було відзначено раніше, ефективність ЗІЗОД залежить від декількох факторів, включаючи проникнення невідфільтрованого повітря через проміжки між маскою та обличчям, а також вчасність їх використання в умовах забрудненої атмосфери. Нажаль, при розробці ДСТУ EN 529 не було встановлено очікувані коефіцієнти захисту для всіх типів ЗІЗОД, що призводить до високого ризику використання неефективних захисних пристроїв. Додатково, відсутність перевірок ізолюючих властивостей при

виборі маски (півмаски) може призвести до отримання працівниками респіраторів з недостатнім рівнем захисту. Такий підхід сприяє необачному ставленню до використання ЗІЗОД та втраті довіри до їх захисних характеристик. Цю проблему можна було б вирішити, використовуючи конкретний стандарт США 29 CFR 1910.134 або внісши відповідні поправки до існуючого ДСТУ EN 529. Однак, наразі таких дій не відбулося, тому виникає необхідність в удосконаленні існуючих моделей ЗІЗОД для забезпечення надійного захисту користувачів.

Не вирішена проблема й правильного вибору ЗІЗОД з урахуванням його прийнятності працівником (умови праці і виконувана робота). Якщо для захисних властивостей можна використовувати чіткі і науково обґрунтовані вказівки стандарту США, то питання вибору ЗІЗОД для: гарячого мікроклімату та різних видів робіт і умов – не вирішене повноцінно і на заході, є лише окремі загальні вказівки; і їх виконання не є юридично обов'язковим для роботодавця.

Для забезпечення відповідного терміну захисної дії протигазових та протипилових фільтрів, а також для уникнення отруєнь користувачів через потрапляння шкідливих аерозолів у підмасковий простір фільтрувального ЗІЗОД та надмірного фізичного виснаження через зростання перепаду тиску понад нормовані рівні, рекомендується використовувати фільтри зі спеціальними індикаторами, які дозволяють визначати ступінь забруднення повітря та перепад тиску.

Для підвищення надійності захисту користувачів рекомендується оснащувати фільтрувальні респіратори функціями оперативного контролю опору диханню. Також важливе розміщення наголів'я для контролю можливих зазорів за смугою обтюрації під час виконання різних виробничих операцій та встановлення реального терміну захисної дії фільтрів.

## 2.4 Розробка наукових засад створення протигазових фільтрів для уловлювання АХНР інгаляційної дії

Кінцевою метою даної роботи є створення і подальша організація виробництва високоефективного фільтрувального засобу для забезпечення користувачів підприємств, на яких можливе зараження АХНР інгаляційної дії, зокрема кислими газами (в тому числі  $\text{SO}_2$ ), а також населення, що проживає безпосередній близькості до джерела небезпеки, і іноді складає десятки тисяч осіб.

Спорядження населення високовартісними ЗІЗОД, використання яких потребує спеціальної підготовки, на даний час було б недоречним, тому що:

- відомі ЗІЗОД споряджені фільтрами, заповненими абсорбентами і поглиначами від цілої низки отруйних речовин. Об'єм поглиначів при виготовленні ЗІЗОД визначається виходячи з максимальних концентрацій АХНР і часом перебування в ньому. Тому, вони мають достатньо великий об'єм і високу вартість;

- ЗІЗОД мають великий опір, що при підвищених фізичних навантаженнях, наприклад, при евакуації з зони ураження непідготовлених користувачів, є джерелом значних енергетичних затрат;

- високий опір є причиною виникнення значного розрідження в підмасковому просторі ЗІЗОД, що підвищує вимоги до герметичності контакту лицьової частини з поверхнею обличчя. Необхідна герметичність по смузі обтюрації у даному випадку може досягатися тільки за рахунок підвищення тиску матеріалу лицьової частини в зоні контакту, що викликає значні величини механічного впливу лицьової частини на м'які тканини обличчя та впливає на кровообіг.

Концептуальні основи проектування ФР викладені у підрозділі 2.1. Однак при проектуванні ФР подвійного призначення для захисту від діоксиду сірки повинні бути враховані наступні особливості: конструкція фільтра ФР повинна забезпечувати можливість використанні у

якості хемосорбенту ІВХС з пасивною індикацією «спрацьовування», поглинальний шар фільтра Е1 повинен забезпечувати відповідність часу захисної дії вимогам ДСТУ EN 14387:2017 і складатися з дисків, виготовлених з ІВХС або ІВХС-І, які будуть заповняти увесь об'єм корпусу фільтра, при цьому, опір фільтра не повинен перевищувати вимоги НД.

Уловлювання шкідливих речовин ФР базується на фізико-хімічному процесі їх поглинання – сорбції. При цьому, коли сорбент забезпечує знешкодження за рахунок структури свого поверхневого шару, цей процес називають адсорбцією.

При фізичній адсорбції здійснюються три типи міжмолекулярної взаємодії:

- дисперсна взаємодія, коли молекули адсорбенту і сорбенту мають значення дипольного моменту близькі до нуля. Як приклад можна привести випадки, коли активоване вугілля адсорбує пари вуглеводнів;

- індукційна взаємодія, коли один з двох учасників процесу має молекули з постійними диполями. Як приклад можна навести випадок адсорбції діоксиду сірки з активованим вугіллям [20];

- орієнтаційна взаємодія, коли молекули, як адсорбенту, так і адсорбуючої речовини, мають постійний електричний диполь, наприклад, при адсорбції парів води силікагелем.

Рушійною силою адсорбції є градієнт концентрації. При адсорбції відбувається зміна енергії  $E$  системи «речовина - тверде тіло». Чим більша  $E$ , тим міцніше взаємозв'язок адсорбційної молекули з молекулами твердого тіла. Надлишкова енергія при адсорбції виділяється у вигляді тепла.

Для пояснення адсорбції парів при відносно невеликих концентраціях небезпечних хімічних речовин в повітрі на мікропористих сорбентах, зокрема на активованому вугіллі, отримала широке застосування теорія об'ємного заповнення мікропор (ТОЗМ) Дубініна-Радускевіча [21]:

$$a = \frac{W_0}{V^*} \exp \left[ - \left( \frac{RT \ln \frac{P_s}{P}}{\beta E_0} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

$$\frac{P_s}{P} = \frac{C_s}{C}, \quad (2.11)$$

де  $a$  – величина рівноважної адсорбції, ммоль/г;  $W_0$  – граничний обсяг адсорбційного простору, см<sup>3</sup>/г. Для активного вугілля  $W_0 \approx V_{\text{mm}}$ ;  $V^*$  – молярний об'єм шкідливої речовини в адсорбованому стані, ммоль/г. В інженерних розрахунках приймають, що  $V^* \approx V_{\text{рід}}$  ( $V_{\text{рід}}$  – молярний об'єм речовини в рідкому стані);  $R$  – універсальна газова постійна,  $R = 8,31441$  Дж/(моль • К);  $T$  – температура, К;  $P_s$  – тиск насиченої пари речовини, Па;  $P$  – парціальний тиск пара речовини, Па;  $C_s$  – концентрація насиченого пара речовини, мг/л;  $C$  – концентрація пари речовини, мг/л;  $E_0$  – характеристична молярна енергія адсорбції, кДж/моль, характеризує розмір мікропор:  $X_{\text{мі}} = 12/E_0$ ;  $\beta$  – коефіцієнт афінності, за фізичним змістом дорівнює відношенню молярних диференціальних робіт адсорбції при адсорбції одного моля шкідливої речовини і одного моля бензолу (стандартної речовини).

За допомогою цієї теорії можна оцінити час захисної дії фільтрів від товщини адсорбенту. Розрізняють три стадії динаміки адсорбції.

Перша стадія називається стадією миттєвого проникнення, так як концентрація, відповідна проникливому значенню, практично миттєво проникає в поглинаючий шар на глибину  $L_{\text{п}}$ . При цьому швидкість переміщення високих концентрацій мінімальна, а швидкість переміщення малих концентрацій максимальна.

Ця стадія описує співвідношенням [22, 23]:

$$\frac{C_n}{C_0} = \exp\left(-\frac{L_n \beta_3^*}{v}\right) \quad (2.12)$$

$$L_n = \frac{v}{\beta_3^*} \cdot \ln \frac{C_0}{C_n}, \quad (2.13)$$

де  $C_0$  – початкова концентрація (постійна) парів у забрудненому повітрі;  $C_n$  – порогова (проскокова) концентрація парів;  $\beta^*$  – ефективний коефіцієнт масопереносу.

Друга стадія – нестационарна стадія характеризується тим, що на цій стадії швидкість переміщення високих концентрацій починає збільшуватися, а швидкість малих концентрацій — знижуватися, тоді час захисної дії можна визначити [24]:

$$t_3 = \frac{a_3 a}{C_0 v} \cdot \left( L_{ш} - \frac{2,3v}{\beta_3^*} \lg \frac{C_0}{C_n} \right) \quad (2.14)$$

де  $a_3$  – емпіричний коефіцієнт (в більшості випадків  $a_3 = 0,3-0,9$ ). Він характеризує відмінності адсорбції окремих ізольованих гранул сорбенту і гранул в поглинаючому шарі.

Третя стадія, так звана стаціонарна стадія, настає в той момент, коли швидкість різних концентрацій порівнюється і надалі фронт адсорбції переміщується за поглинальним шаром з постійною швидкістю адсорбції з звідси час захисної дії фільтра описується рівнянням [25]:

$$t_3 = k(L - h) = kL - \tau, \quad (2.15)$$

де  $k$  – коефіцієнт захисної дії, хв/см;  $h$  – довжина невикористаного шару, см;  $\tau$  – втрата часу захисної дії, хв.

Фізичний зміст коефіцієнтів рівняння Шилова:  $k$  – час захисної дії поглинаючого шару одиничної довжини при  $L > L_0$ ;  $h$  – довжина шару сорбенту, яка не брала участь в адсорбції пари (газу) АХНР інгаляційної дії до моменту досягнення часу захисної дії;  $\tau$  – різниця часу захисної дії «ідеальної» шихти і реальної шихти.

Геометричний зміст коефіцієнтів рівняння Шилова:  $k$  – тангенс кута нахилу прямолінійної ділянки залежності часу захисної дії від довжини шару (при  $L > L_0$ );  $h$  – відрізок осі абсцис, що відсікає продовженням прямолінійного ділянки залежності часу захисної дії від довжини шару;  $\tau$  – відрізок осі ординат, що відсікає продовженням прямолінійної ділянки залежності часу захисної дії від довжини шару [26].

Основними причинами неповного використання адсорбційної здатності поглинаючого шару в динамічних умовах є: кінетика адсорбції і поздовжнє перенесення. В реальних умовах поглинання швидкість адсорбції велика, але не безмежна. Поздовжнє перенесення пов'язане з проявом трьох ефектів: стіновий ефект виникає за рахунок меншого, ніж в об'ємі шихти, аеродинамічного опору шару гранульованого сорбенту близько стінок; ефект грануляції виникає за рахунок різних розмірів гранул сорбенту; ґрунтовий ефект пов'язаний із застосуванням пружин та інших пристроїв, необхідних для підтискання шихти і запобігання її пересипання.

При адсорбції газів вугільним фільтром з активованого вугілля основною перешкодою є вологість. У більшості випадків в атмосфері є багато водяної пари (при тиску 1 атм і  $t = 250^\circ\text{C}$  відносна вологість 50% відповідає 15 700 ppm (частин на мільйон за об'ємом)). Тому була розроблена спеціальна модель з наступними припущеннями для оцінки зменшення сорбційної ємності [27, 28].

1. На здатність сорбенту поглинати АХНР інгаляційної дії (А) впливають молекули води, які адсорбувались або сконденсувались на сорбенті (вони впливають на доступну для сорбції ємність сорбенту). В той же час молекули води, що знаходяться в повітрі не заважають адсорбції шкідливих газів.

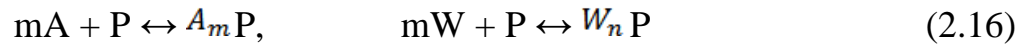
2. Адсорбована волога впливає тільки на сорбційну ємність фільтра ( $W_e$ )

3. При проникненні існує рівновага між газом, твердою та рідкою фази і у вологості та у адсорбенту.



4. Існує певна (постійна) концентрація  $[P]$  однорідних мікропор, в яких може міститися або  $n$  молекул води  $W_nP$ , або  $m$  молекул адсорбенту  $A_mP$ .

Рівновагу і константи рівноваги  $K_a$  і  $K_w$  можна виразити так [29]:



$$K_a = [A_mP]/[P][A]^m, \quad K_w = [W_nP]/[P][W]^n \quad (2.17)$$

для концентрацій парів і водяної пари ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ),  $[A]$  і  $[W]$  відповідно. Концентрація пір, в які може потрапити адсорбент або сконденсована вода [29]:

$$[P] = [P]_0 - [W_nP] - [A_mP] \quad (2.18)$$

Поєднавши рівняння 2.16 – 2.18 отримуємо:

$$X_a = \{b_m K_a [A]^m\} / \{1 + K_w [W]^n + K_a [A]^m\} \quad (2.19)$$

$$1/X_a = (\{1 + K_a [A]^m\} / \{m b K_a [A]^m\}) + (K_w / \{m b K_a [A]^m\}) * [W]^n \quad (2.20)$$

Рівняння (2.22) пов'язує величину, зворотну ємності сорбенту, з (ступенем) концентрації парів води. Якщо прийняти зроблені припущення про рівноважні умови, то в рівнянні (2.20) другий член дорівнює 0, і при постійній концентрації в повітрі, що очищується отримаємо величину, зворотну часу проскакування  $1/t_b = [A]V/X_a M_c$ , де  $V$  – об'ємна витрата ( $\text{м}^3/\text{хв}$ ),  $M_c$  – маса активованого вугілля,  $\text{мг}$  (2.22). Таким чином,  $1/t_b$  також є функцією від  $[W]$ .

Величина, зворотна відношенню ємності  $X_a$  до  $X'_a$  (або часу проскакування  $t_b$  до  $t'_b$ ) при заданій концентрації води  $[W']$  може бути виражена як:

$$X'_a/X_a = \{(1 + K_a [A]^m)/(1 + K_w [W']^n + K_a [A]^m)\} + \\ + \{(K_w [W]_{\text{sat}}^n)/(1 + K_w [W]_{\text{sat}}^n + K_a [A]^m)\} (RH)^n \quad (2.21)$$

де  $[W] = [W]_{\text{sat}}(RH)$ ,  $[W]_{\text{sat}}$  – концентрація пари води при вологості ( $RH = 100\%$ ), а  $RH$  виражена як десятковий дріб. Зауважимо, що лінія рівняння 2.23 (рис. 2.15), менше або дорівнює 1.

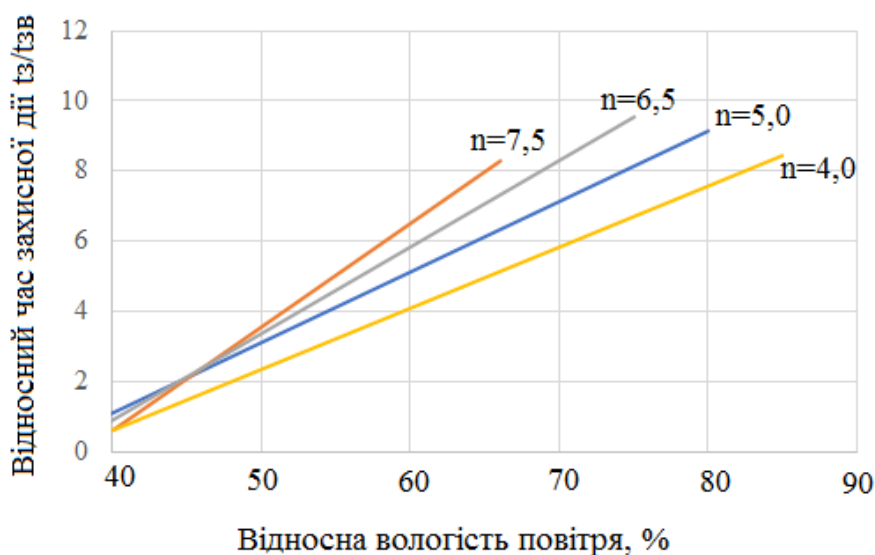


Рисунок 2.15 – Графіки для фільтрів, витриманих у вологій атмосфері, побудовані відповідно до запропонованої моделі

На рис. 2.16 наведено результати моделювання руху повітряного потоку через протигазовий фільтр з різною вологістю повітря, остаточні результати часу захисної дії за розробленою математичною моделлю до результатів вимірювань наведені в табл. 2.2. Значення  $n$  змінювалися від 4 до 7.5.

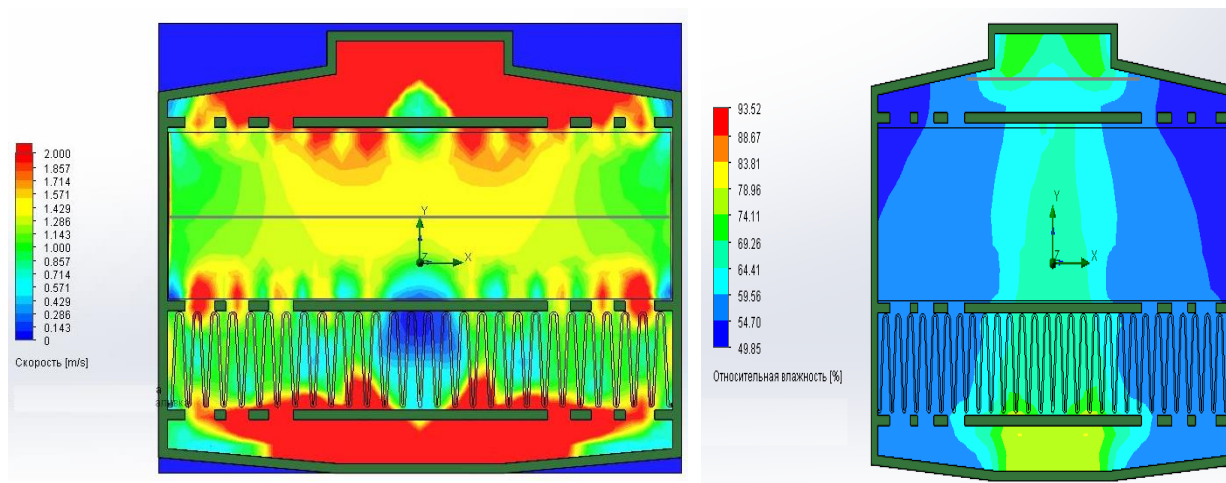


Рисунок 2.16 – Моделювання відпрацювання адсорбенту з різною вологістю повітря 85 % (1); 50 (2)

### Параметри, отримані для сухих фільтрів

Джерело	Гази	Концентрація	Проникнення	Діапазон відн. волог.	Число точок	Значення розрахункових параметрів			
						n	R	Int.	X
1	органічні сполуки	1000 ppm	0.10	0-0.9	6	3.4	0.9821	0.98	0.31
2	трихлоретилен	300 мг/м <sup>3</sup> (50 ppm)	0.50	0.5-0.85	5	7.0	0.9995	0.72	18.56
			0.10	0.5-0.85	5	6.0	0.9991	0.73	14.63
3	трихлоретилен	600 мг/м <sup>3</sup> (100 ppm)	0.50	0.5-0.85	5	5.8	0.9999	0.84	11.34
			0.10	0.5-0.85	5	5.0	0.9987	0.81	10.04
4	трихлоретилен	1000 мг/м <sup>3</sup> (170 ppm)	0.50	0.5-0.8	5	4.9	0.9998	0.84	5.79
			0.10	0.5-0.8	5	4.2	0.9989	0.80	5.02
5	трихлоретилен	1300 мг/м <sup>3</sup> (220 ppm)	0.50	0.5-0.8	5	5.1	1.0000	0.86	4.98
			0.10	0.5-0.85	5	4.2	0.9968	0.87	4.31

Результати моделювання (табл. 2.3) показали, що на час захисної дії впливає нерівномірний розподіл швидкості повітряного потоку по площі фільтра через різницю в розмірах між вхідним і вихідним отвором фільтра. При теоретичному розрахунку передбачався рівномірний процес фільтрації по всій площі фільтра. Однак у фільтрі в процесі насичення часто не працюють периферійні ділянки через нерівномірність щільності заповнення фільтра сорбентом і наявність флуктуацій товщини і пористості фільтра, які можуть бути обумовлені як недоліками технології виготовлення фільтрів, так і утворюватися в процесі транспортування і установки фільтрів в корпус фільтра [31, 32]. Відзначимо, що зазвичай при лабораторних випробуваннях фільтрів використовується установка, в якій фільтр кріпиться в спеціальному затискачі, при цьому вихідний отвір необмежений і вся поверхня фільтра працює рівномірно [33]. При установці фільтруючих елементів корпусу фільтра запропоновано використання розподільвачів повітря, які розміщуються перед фільтруючими елементами, щоб забезпечувати рівномірний потік повітря за всією площею корпусу фільтра (рис. 2.17).

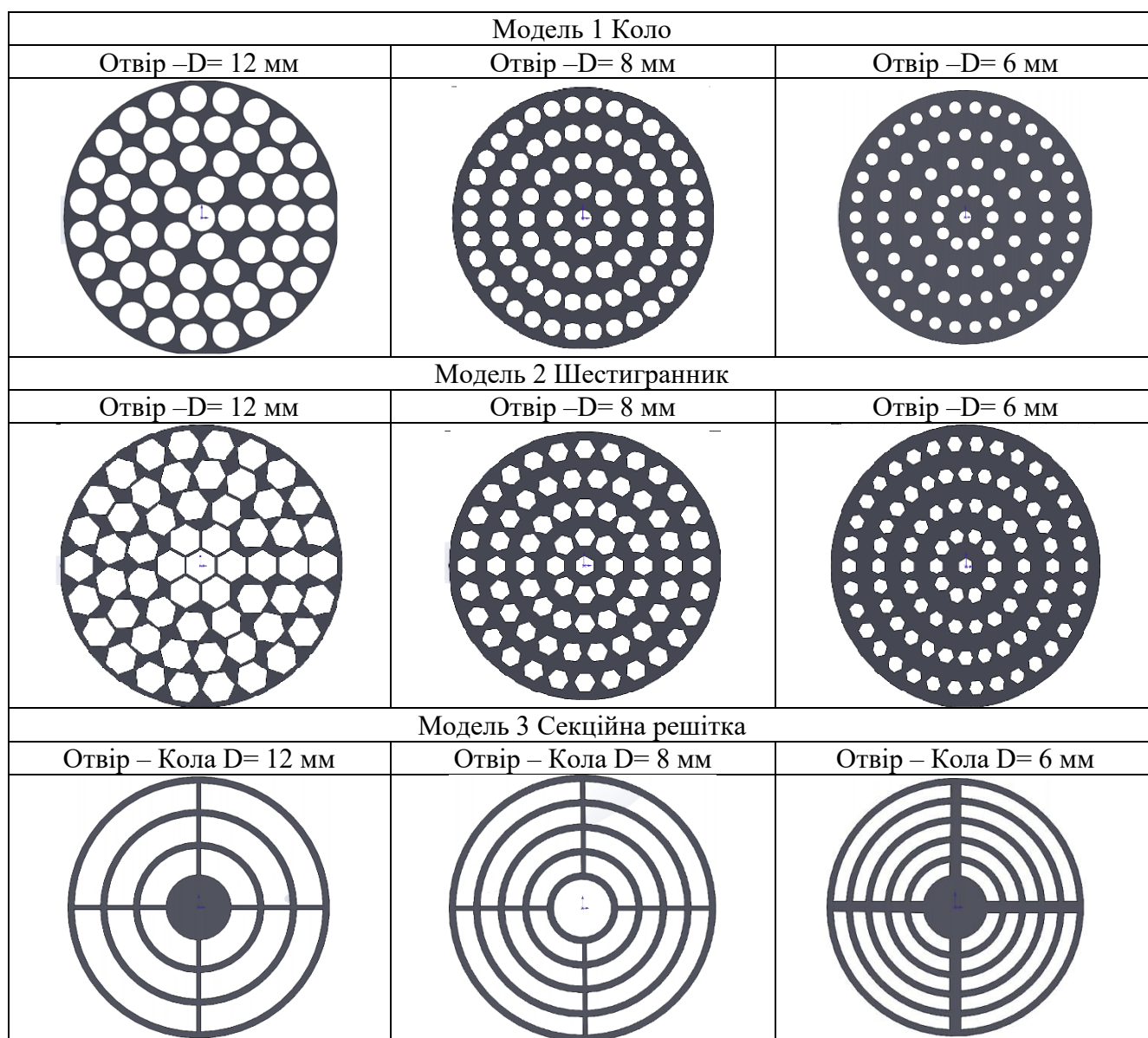


Рисунок 2.17 – Моделі решіток для забезпечення рівномірного розподілу повітряного потоку за площею фільтра

Таким чином, модель підтверджує, що на ділянці фільтра, розташованого навпроти вихідного отвору, фільтруючий шар швидше насичується шкідливими парами, що призводить до прискорення появи небезпечної проникненої концентрації за фільтром (рис. 2.18).

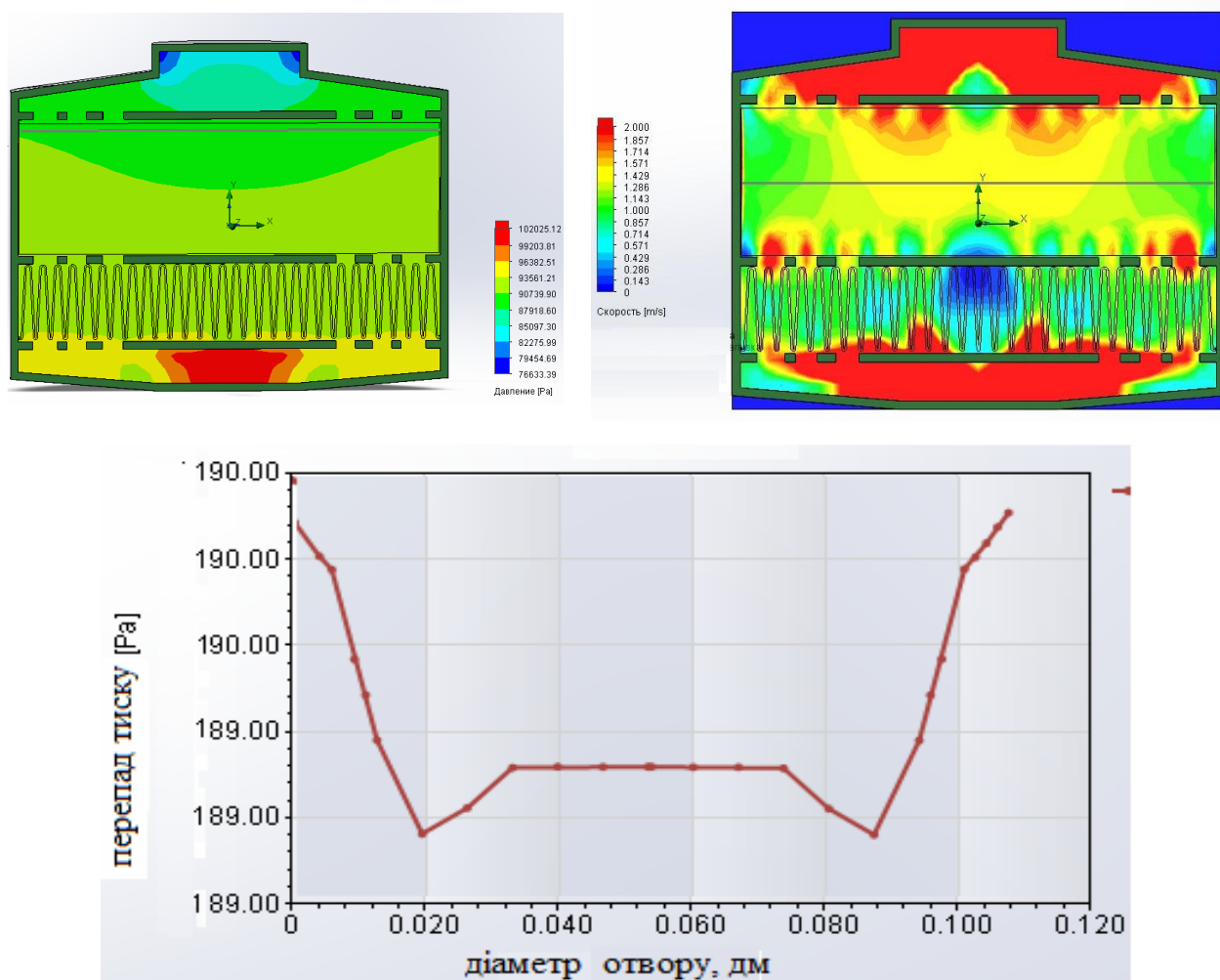


Рисунок 2.18 – Моделювання руху повітря через протигазовий фільтр: зміна перепаду тиску на ділянках фільтра виходячи з розмірів фільтрувальної коробки

Таблиця 2.3

### Результати моделювання

Модель	Діаметр отвору, мм	Середній перепад тиску на фільтрі, Па	Середня швидкість фільтрування, см/с	Площа фільтра, яка задіяна у процесі фільтрації, %
1	12	189	6	72
	8	187	5	81
	6	192	7	65
2	12	187	5	74
	8	185	4	83
	6	190	6	69
3	12	186	3	76
	8	184	2	84
	6	189	4	72

## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

1. Досягнення заданих показників коефіцієнта захисту фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання (респіраторів) забезпечується за рахунок додавання до відомого алгоритму з їх проектування двох кроків, які дозволять проводити контроль захисних властивостей макетів на етапі їх розробки з подальшим виконанням коригувальних дій при відхиленні показників від запланованих технічним завданням.

2. Встановлено, що коефіцієнт ізолювання масок покращується за рахунок збільшення притискних зусиль обтюратора маски до обличчя користувача, що досягається не тільки за рахунок рівномірного розподілу притискних зусиль та підвищення еластичності матеріалу обтюратора, а й додаванням спеціальної роздільної смуги на обтюраторі, яка б урахувала особливості антропометричної будови обличчя.

3. Для забезпечення ефективності захисту користувачів із використанням протигазових та протипилових фільтрів і уникнення можливих ризиків отруєння через проникнення шкідливих аерозолів у підмасковий простір фільтрувального ЗІЗОД, рекомендується встановлення спеціальних індикаторів на фільтрах для визначення ступеня забруднення повітря та перепаду тиску. Додатково, для підвищення надійності захисту користувачів, фільтрувальні респіратори можуть бути оснащені функціями оперативного контролю опору диханню, розташуванням наголів'я для виявлення можливих зазорів під час різних виробничих операцій, а також встановленням реального терміну дії фільтрів.

4. В результаті моделювання впливу вологості повітря на термін захисної дії протигазових фільтрів встановлено, що у відповідному програмному середовищі, найбільш вплив на кількість уловлювання небезпечних аерозолів залежить від швидкості фільтрування та нерівномірності завантаження адсорберу за площею фільтра через різницю у

вхідному і вихідному отворах, що пропонується зменшити завдяки застосуванню різних конструкцій решіток, які розміщуються відразу після вхідного отвору.

Основні результати дослідження опубліковані у [19, 20].

## ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ 2

1. Kirillov V.F., Bunchev A.V., Chirkin A.A. On individual protective means for workers' respiratory organs (review of literature). *Russ. J. Occup. Health Ind. Ecology*. 2013. Vol. 31, N 4. P. 25–31. DOI: 10.1002/hfm.20934
2. Cheberyachko S.I., Frundin V.Yu., Cheberyachko Yu.I., Stolbchenko O.V. Studying the Influence of a Filter Box Design on Respirator Resistance to Breathing. *J. Int. Soc. Resp. Prot.* 2017. Vol. 34, N 1. P. 58–64.
3. Oestenstad R.K., Elliot L.J., Beasley T.M. The effect of gender and respirator brand on the association of respirator fit with facial dimensions. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2007. Vol. 4, N 12. P. 923–930. DOI: 10.1080/15459620701709619.
4. Lei Z., Yang J., Zhuang Z. A Novel Algorithm for Determining Contact Area Between a Respirator and a Headform. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2014. Vol. 11, N 4. P. 227–237. DOI: 10.1080/15459624.2013.858818.
5. Щодо запровадження заходів, що сприяють покращенню безпеки та гігієни праці робітників на виробництві: Директива Ради ЄС від 12.06.1989 № 89/391/ЄЕС. Люксембург, 1989. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_b23](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_b23) (дата звернення: 08.08.2019).
6. Janssen L., Weber R. The Effect of Pressure Drop on Respirator Faceseal Leakage. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2005. Vol. 2, N 7. P. 335–340. DOI: 10.1080/15459620590965068
7. Kuo Y.M., Lai C.Y., Chen C.C., Lu B.H., Huang S.H., Chen C.W. Evaluation of Exhalation Valves. *Ann. Occup. Hyg.* 2005. Vol. 4, N 7. P. 563–568. DOI: 10.1093/annhyg/mei003
8. Wood G.O. Estimating Service Lives of Organic Vapor Cartridges II: A Single Vapor at All Humidities. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2004. Vol. 1, N 7. P. 472–492. DOI: 10.1080/15459620490467792



9. Lei Z., Yang J., Zhuang Z. Headform and N95 Filtering Facepiece Respirator Interaction: Contact Pressure Simulation and Validation. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2012. Vol. 9, N 1. P. 46–58. DOI: 10.1080/15459624.2011.635130
10. Gutierrez A.M.J.A., Galang M.D., Seva R.R., Lu M.C., Ty D.R.S. Designing an improved respirator for automotive painters. *Int. J. Ind. Ergonomics.* 2014. Vol. 44, N 1. P. 131–139. DOI: 10.1016/j.ergon.2013.11.004
11. Zhuang Z., Bradtmiller B., Shaffer R.E. New respirator fit test panels representing the current U.S. civilian work force. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2007. Vol. 4, N 9. P. 647–659. DOI: 10.1080/15459620701497538
12. Groce D., Guffey S., Viscusi D.J. Three-dimensional facial parameters and principal component scores: Association with respirator fit. *J. Int. Soc. Respiratory Prot.* 2010. Vol. 27, N 1. P. 1–15.
13. Brosseau L.M. Fit testing respirators for public health medical emergencies. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2010. Vol. 7, N 11. P. 628–632. DOI: 10.1080/15459624.2010.514782
14. Plebani C., Listrani S., Di Luigi M. Filtering facepieces: Effect of oily aerosol load on penetration through the filtering material. *Med. Lav.* 2010. Vol. 101, N 4. P. 293–302.
15. Cai M., Li H., Shen S., Wang Y., Yang Q. Customized design and 3D printing of face seal for an N95 filtering facepiece respirator. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2017. Vol. 15, N 3. P. 226–234. DOI: 10.1080/15459624.2017.1411598
16. Stechkina I.B., Kirsh V.A. Optimizing filter parameters in a multi-stage gas cleaning system fine. *Theor. Found. Chem. Eng.* 2003. Vol. 37, N 3. P. 218–225. DOI: 10.1023/A:1024071202844
17. Stechkina I.B., Kirsh V.A. Kinetics and optimization of driving prefilter in a two-stage air purification system. *Theor. Found. Chem. Eng.* 2010. Vol. 44, N 1. P. 238–245. DOI: 10.1134/S0040579510010100
18. 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. *J. Plast.*

*Reconstr. Aesthet. Surg.* 2006. Vol. 59, N 11. P. 1193–1202. DOI: 10.1016/j.bjps.2005.10.025

19. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Радчук Д.І., Дерюгін О.В., Клімов Д.Г., Шароватова О.П., Грідяєв В.В. Засоби індивідуального захисту органів дихання: інновації щодо зниження ризику професійних захворювань. *Комунальне господарство міст.* 2023. Т. 1, № 175. С. 221–228.

20. Khoma R.E., Vodzinskii S.V., Klimov D.G. Impregnated activated carbon materials for respiratory purposes. I. Chemisorption of sulfur dioxide. *Укр. хім. журн.* 2023. Т. 89, № 10. С. 124–144. DOI: 10.33609/2708-129X.89.10.2023.124-144

21. Galeev R.S., Zaripov S.K. A theoretical study of aerosol sampling by an idealized spherical sampler in calm air. *J. Aerosol Sci.* 2003. Vol. 34, N 9. P. 1135–1150. DOI: 10.1016/S0021-8502(03)00091-0

22. Jianping Y.C., Yang W.Z. The human factors/ergonomics studies for respirators: a review and future work. *Int. J. Clothing Sci. Technol.* 2015. Vol. 27, N 5. P. 652–676. DOI: 10.1108/IJCST-06-2014-0077

23. Vinothkumar N., Varatharasan V. CFD flow simulation of protection layer in air pollution mask. *Int. J. Adv. Res. Basic Eng. Sci. Technol.* 2017. Vol. 3, N 24. P. 198–304.

24. Hayashi C., Tokura H. The effects of two kinds of mask (with or without exhaust valve) on clothing microclimates inside the mask in participants wearing protective clothing for spraying pesticides. *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* 2004. Vol. 77, N 1. P. 73–78. DOI: 10.1007/s00420-003-0472-3

25. Huang X.J., Dan G., Xu Z.K. Preparation and characterization of stable chitosan nanofibrous membrane for lipase immobilization. *Eur. Polym. J.* 2007. Vol. 43, N 9. P. 3710–3718. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2007.06.010

26. Lee H.P., Wang D.Y. Objective assessment of increase in breathing resistance of N95 respirators on human subjects. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2011. Vol. 55, N 8. P. 917–921. DOI: 10.1093/annhyg/mer065

27. Majchrzycka K., Okrasa M., Szulc, J., Gutarowska B. The impact of dust in filter materials of respiratory protective devices on the microorganisms viability. *Int. J. Ind. Ergonomics*. 2017. Vol. 58. P. 109-116. DOI: 10.1016/j.ergon.2017.02.008

28. Kirin R. Statutory and regulatory requirements in the process of mineral mining in Ukraine. Review and analysis. *Min. Miner. Deposits*. 2019. Vol. 13, N 2. P. 59–65. DOI: 10.33271/mining13.02.059.

29. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. Weightless threshold. Problems of using respiratory protective equipment. *Safety Labor Protection*. 2015. N 1. P. 59–63.

30. Vasiliev Ye.V., Gizatullin Sh.F., Spelnikova M.I. Problems of selecting and using gas aerosol filtering half-masks. In *Reference book for labour protection specialist*. 2014. N 12 P. 51–55.

31. Balanay J.A., Bartolucci A.A., Lungu C.T. Adsorption characteristics of activated carbon fibers (ACFs) for toluene: application in respiratory protection. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2014. Vol. 11, N 3. P. 133–43. DOI: 10.1080/15459624.2013.816433.

32. Tefera D., Hashisho Z., Philips J., Anderson J., Nichols M. Modeling Competitive Adsorption of Mixtures of Volatile Organic Compounds in a FixedBed of Beaded Activated Carbon. *Env. Sci. Technol.* 2014. Vol. 48, N 9. P. 5108–5117. DOI: 10.1021/es404667f

33. Dunnett S.J., Vincent J.H. A mathematical study of aerosol sampling by an idealised blunt sampler oriented at an angle to the wind: the role of gravity. *J. Aerosol Sci.* 2000. Vol. 31, N 10. P. 1187–1203. DOI: 10.1016/S0021-8502(00)00024-0.

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБКА ІМПРЕГНОВАНОГО ВОЛОКНИСТОГО ХЕМОСОРБЕНТУ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НОРМОВАНІ ВИМОГИ ДЛЯ ПРОТИГАЗОВИХ ФІЛЬТРІВ КЛАСУ E1 (ДІОКСИД СІРКИ) ДЛЯ СПОРЯДЖЕННЯ ЗІЗОД

### 3.1 Дослідження хімічних аспектів процесів хемосорбції діоксиду сірки водними розчинами тауратів калію та моноетаноламонію

Аміни, зокрема аміноспирти (Am), найбільш широко протестовані в якості хемосорбентів кислих газів, наприклад діоксиду сірки [1-4]. Як зазначено в розділі 1.3, раніше [4-12] співробітниками ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України було розроблено типоряд імпрегнованих волокнистих хемосорбентів (ІВХС) респіраторного призначення на основі моноетаноламіну (МЕА); виявлено позитивний ефект введення гідрофілізуючих добавок-промоутерів до складу ІВХС на їхні захисні властивості щодо  $SO_2$  [4, 7, 10, 11].

В останній час велика увага дослідників приділена амінокислотам (як альтернативам аміноспиртів) для уловлення  $SO_2$ , оскільки вони продемонстрували високу реакційну здатність щодо вказаного токсиканту, є екологічно чистими та демонструють інші сприятливі властивості, такі як низькі летючість та токсичність, а також високу здатність до біорозкладання [13-16]. Особливе місце серед амінокислот займає таурин (Tau,  $NH_2CH_2CH_2SO_3H$ ) – єдина сульфокислота природного походження [17], яка є багатотоннажним продуктом [18].

Обмеженість літературних даних про характер взаємодії діоксиду сірки з водними розчинами солей Тау, склад та відносну стійкість відповідних продуктів взаємодії стимулювала проведення досліджень [19], мета яких полягала у вивченні хімічних аспектів процесів хемосорбції  $SO_2$  водними розчинами таурату калію (TauK) та таурату моноетаноламонію (TauMEA) в області 298 – 313 К, а також в розробці хемосорбенту пролонгованої дії, що забезпечує нормовані вимоги [20] для протигазових фільтрів класу E1 (діоксид

сірки), якими можна було б споряджати ЗІЗОД для захисту користувачів в умовах НС, на основі отриманих даних.

У дослідженнях використовували Tau (CASNo 107-35-7), моноетаноламін (МЕА; “for synthesis”), гідроксид калію (ч.д.а.). Модельні 0,1 М водні розчини TauK та TauМЕА готували шляхом взаємодії Tau із відповідними основами в еквімолярних кількостях. Методика приготування водних розчинів та проведення хронопотенціо- та хронокондуктометричного газометричного титрування SO<sub>2</sub> модельних розчинів детально описана в роботах [21, 22].

Як волокнистий носій (ВН) було вибрано неткане голкопробивне полотно для фільтрації на основі віскозного волокна (СФМ-ОЦ; ТУ У 33.1-01530125-015:2007) товщиною 4 мм і поверхневою густиною 300 г/м<sup>2</sup>. У порівняльних умовах досліджувалися: зразки ВН, що містять МЕА або/і TauK. Методика приготування просочуючих розчинів та отримання ІВХС на їх основі аналогічна [23]. Випробування ІВХС здійснювались в динамічних умовах, наближених до реального використання ЗІЗОД в умовах НС згідно [20]: концентрація SO<sub>2</sub> у газоповітряній суміші (ГПС) – 2700 мг/м<sup>3</sup> (270 ГДК), відносна вологість ГПС – 90÷95 %; швидкість потоку ГПС – 2,0 см/с. Ефективність отриманих зразків ІВХС порівнювали з прототипом за часом захисної дії ( $\tau_{з.д.}$ , хв.) та ступенем “спрацьовування” хемосорбенту ( $\eta$ , %). Час захисної дії фіксували, коли концентрація SO<sub>2</sub> за шаром матеріалу досягала рівня 10мг/м<sup>3</sup> (ГДК= 10мг/м<sup>3</sup>).

На рис. 3.1 – 3.4 подані дані хроно-рН-, хроноредокс- та хронокондуктометричного титрування водних 0,1 моль/л розчинів TauK та TauМЕА газоподібним SO<sub>2</sub> при 298 – 313 К. Стрибкам на інтегральних рН-метричних кривих титрування (рис. 3.1) відповідають максимуми на диференційних кривих титрування (рис. 3.2; табл. 3.1), подібно [21, 22]. Перші ефекти (стрибки та максимуми, відповідно) на вказаних кривих спостерігаються при співвідношеннях  $Q_{SO_2} : Q_{TauK} = (0,40 \div 0,44) : 1,00$  та  $Q_{SO_2} : Q_{TauMEA} = (0,34 \div 0,49) : 1,00$ , подібно N,N-діалкілмоноетаноламінам та морфоліну [24], але на відміну від МЕА, N-метилмоно- (ММЕА), ді- (DEA), N-

метилді- (MDEA) та триетаноламіну (TEA;  $Q_{SO_2}: Q_{Am} = 0,50 : 1,00$ ) [22]. Це зумовлено утворенням сульфідів та їх Н-зв'язаних асоціатів із іншими іонами, подібно [25]. Положення других ефектів на рН-метричних кривих відповідають співвідношенням  $Q_{SO_2}: Q_{TauK} = (0,77 \div 0,90) : 1,00$  та  $Q_{SO_2}: Q_{TauMEA} = (0,66 \div 0,90) : 1,00$ , на відміну від [22] ( $Q_{SO_2}: Q_{Am} = 0,90 : 1,00$ ).

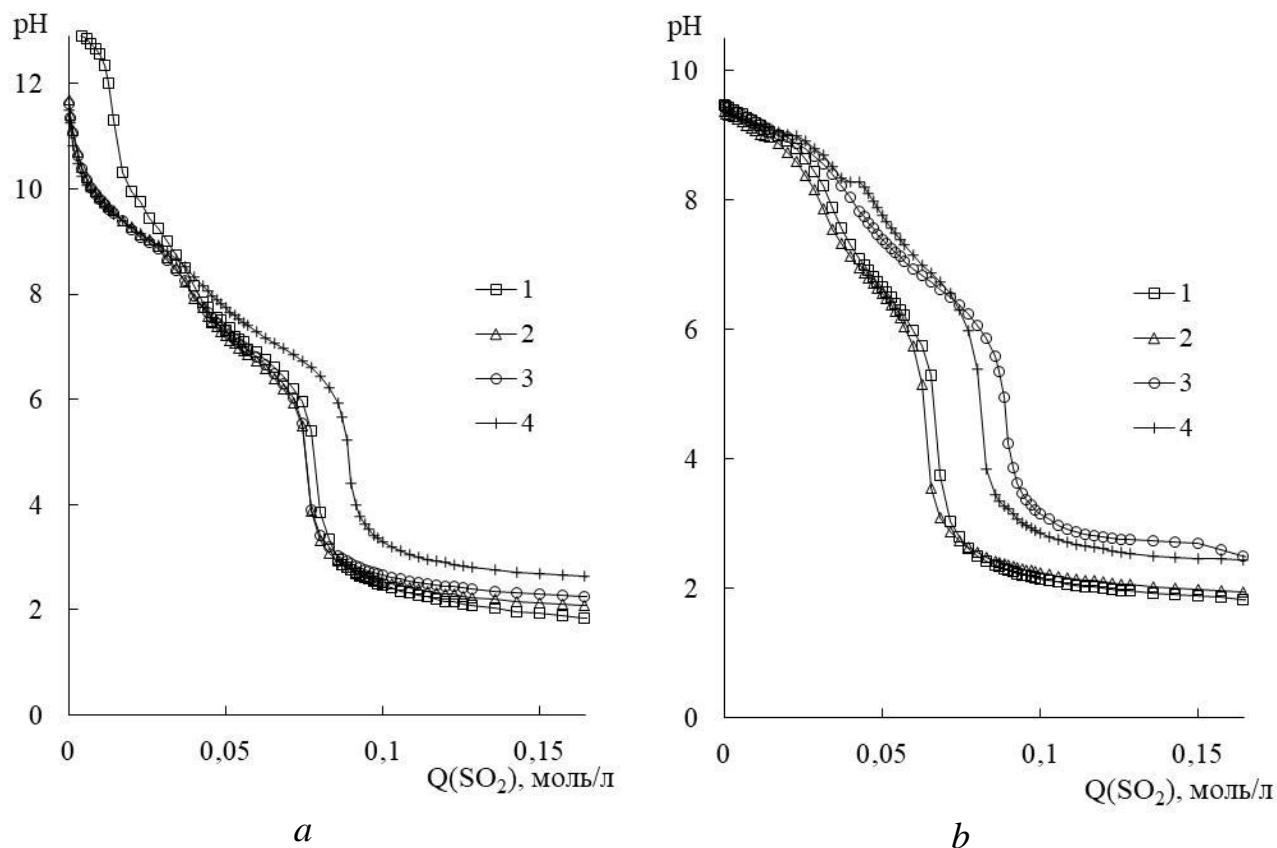


Рисунок 3.1 – Інтегральні рН-метричні криві титрування водних 0,1 М розчинів ТауК(*a*) та ТауМЕА(*b*) газоподібним SO<sub>2</sub>. Т (К): 298–1; 303–2; 308–3; 313–4

Для ТауК та ТауМЕА (при 298 – 313 К та 298 – 308К, відповідно) величини перших максимумів на диференційних рН-метричних кривих титрування з підвищенням температури зменшуються (табл. 3.1), що згідно [22] зумовлено гідролітичною стійкістю утворених сполук. Величини других максимумів для ТауК в області 298 – 308К практично не залежать від температури.

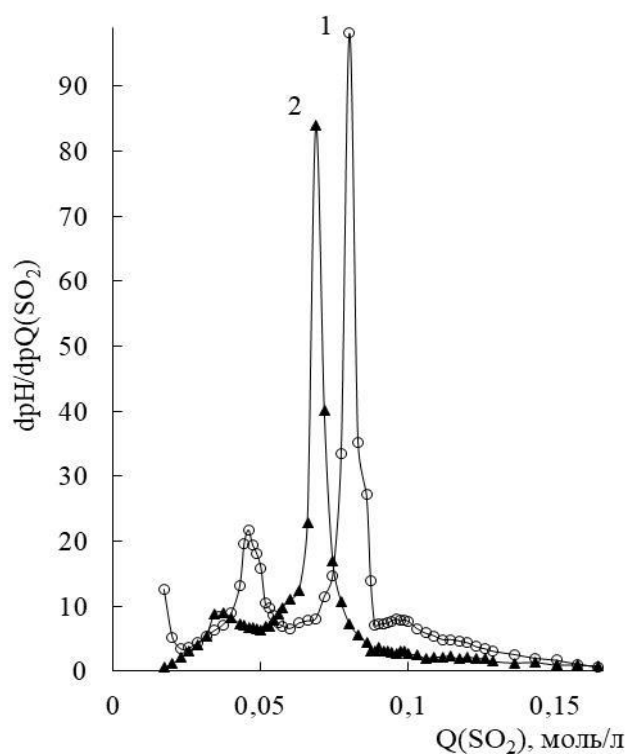


Рисунок 3.2 – Диференційні рН-метричні криві титрування водних 0,1 М розчинів TauK (1) та TauMEA (2) газоподібним SO<sub>2</sub> при 298 К.

Таблиця 3.1

**Характеристики рН-метричних кривих титрування 0,1 М розчинів TauK та TauMEA газоподібним діоксидом сірки**

T, K	1-ий максимум			2-ий максимум		
	SO <sub>2</sub> :TauK (TauMEA)	pH	dpH/dpQ <sub>SO<sub>2</sub></sub>	SO <sub>2</sub> :TauK (TauMEA)	pH	dpH/dpQ <sub>SO<sub>2</sub></sub>
TauK						
298	0,40 : 1,00	8,15	10,87	0,80 : 1,00	3,85	98,1
303	0,44 : 1,00	7,58	12,29	0,77 : 1,00	3,88	99,1
308	0,40 : 1,00	7,98	8,54	0,77 : 1,00	3,90	100
313	0,44 : 1,00	8,06	7,02	0,90 : 1,00	4,40	119
TauMEA						
298	0,37 : 1,00	7,58	9,06	0,69 : 1,00	3,75	83,9
303	0,34 : 1,00	7,55	8,20	0,66 : 1,00	3,55	82,9
308	0,43 : 1,00	7,84	7,00	0,90 : 1,00	4,25	100
313	0,49 : 1,00	7,88	8,48	0,83 : 1,00	3,85	101

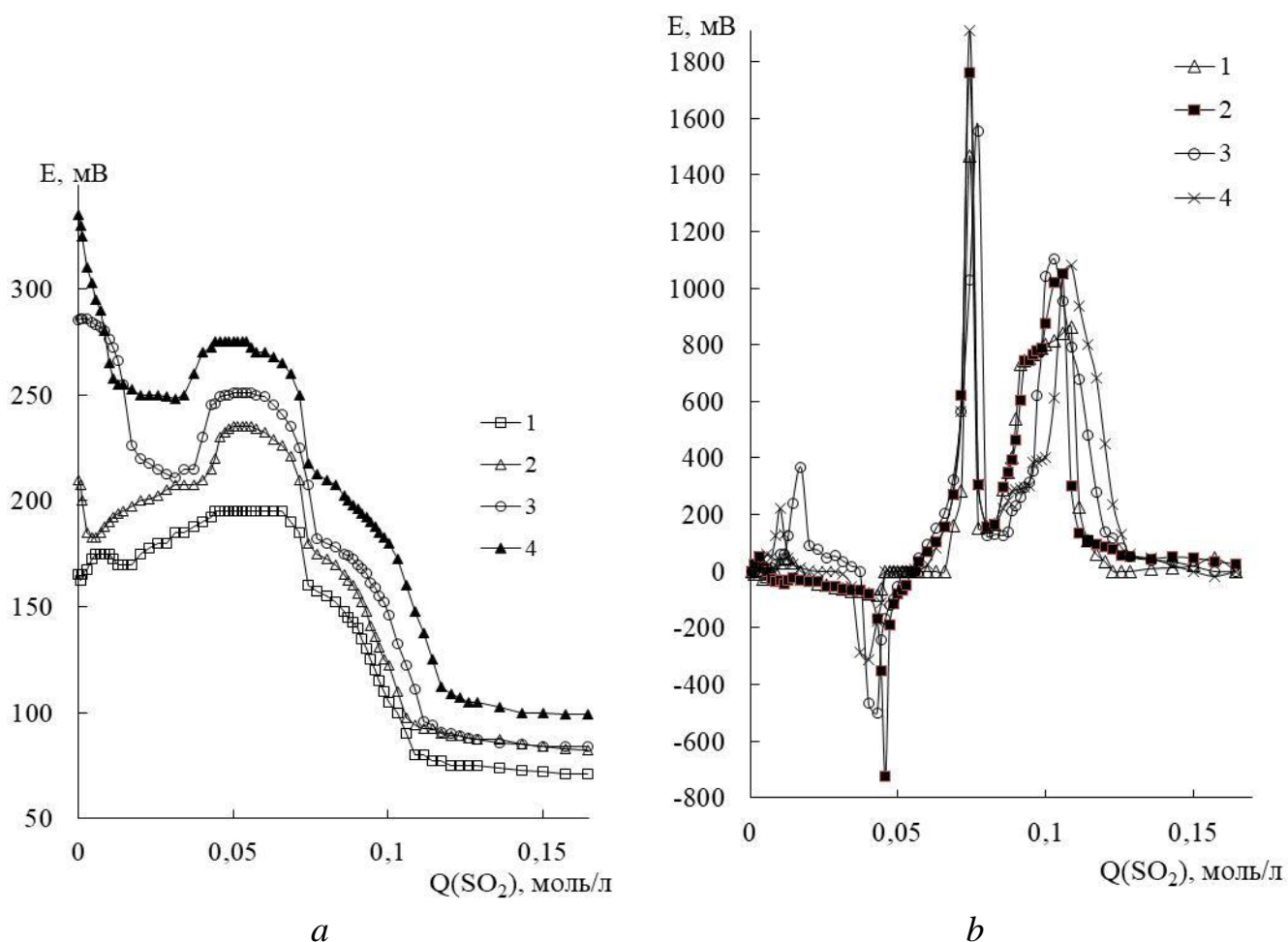


Рисунок 3.3 – Інтегральні (а) та диференційні (b) редоксметричні криві титрування водного 0,1М розчину TauK. Т (К): 298 – 1; 303 – 2; 308 – 3; 313 – 4.

Таблиця 3.2

**Характеристики редокс-метричних кривих титрування 0,1 М розчинів TauK та TauMEA газоподібним діоксидом сірки**

Т,К	1-ий мінімум			2-ий мінімум		
	SO <sub>2</sub> :TauK (TauMEA)	E, мВ	dE/dpQ <sub>SO<sub>2</sub></sub> , мВ	SO <sub>2</sub> :TauK (TauMEA)	E, мВ	dE/dpQ <sub>SO<sub>2</sub></sub> , мВ
<b>TauK</b>						
298	0,43 : 1,00	193	-83,4	0,80 : 1,00	152	160
303	0,46 : 1,00	230	-725	0,80 : 1,00	173	158
308	0,43 : 1,00	245	-500	0,80 : 1,00	180	127
313	0,40 : 1,00	270	-311	0,80 : 1,00	210	158



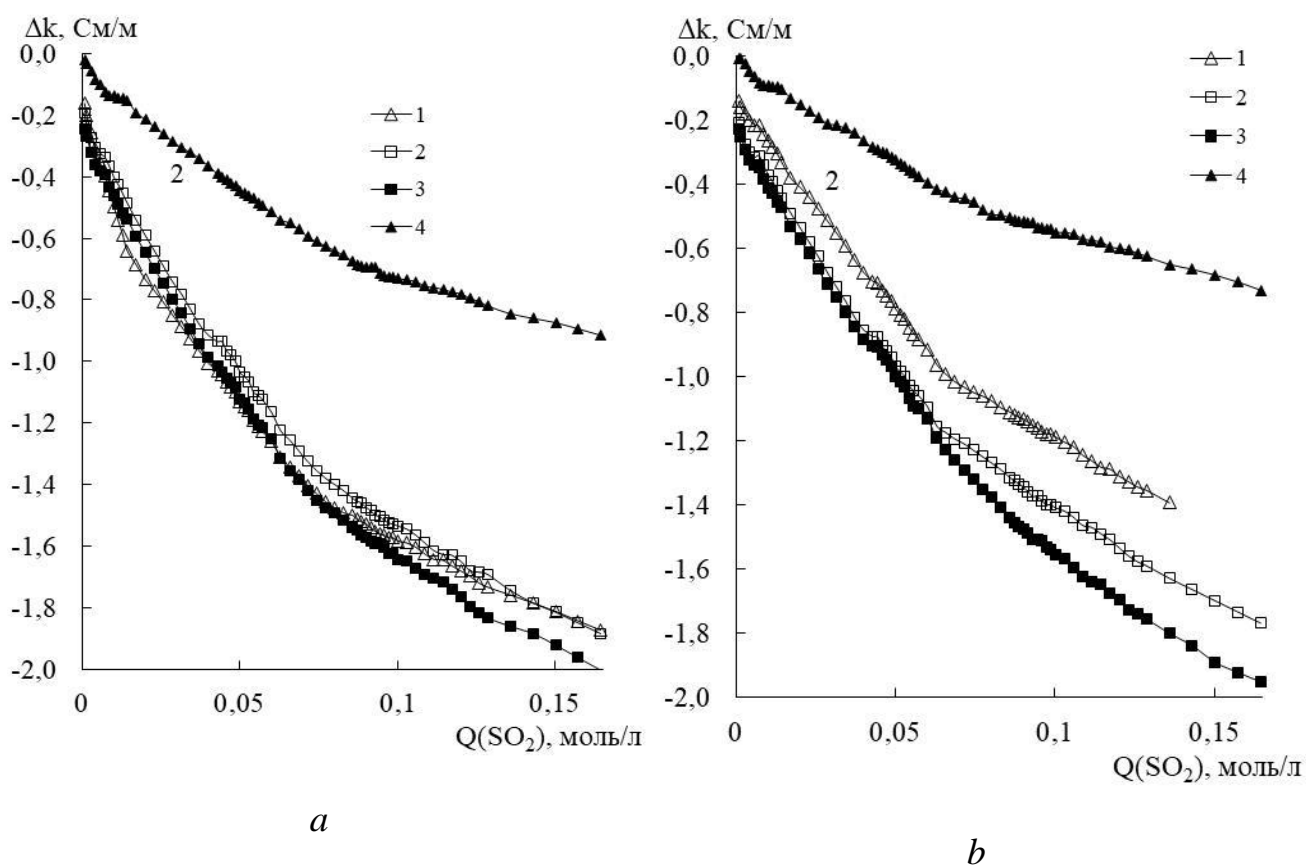


Рисунок 3.4 – Кондуктометричні криві титрування водних 0,1 М розчинів ТауК (а) та ТауМЕА (b) газоподібним SO<sub>2</sub>. Т (К): 298 – 1; 303 – 2; 308 – 3; 313 – 4.

Таблиця 3.3

**Характеристики зламів на кондуктометричних кривих титрування 0,1 М розчинів ТауК та ТауМЕА газоподібним діоксидом сірки**

Т, К	SO <sub>2</sub> :TauK (TauMEA)	Δκ, CM·M <sup>-1</sup>	SO <sub>2</sub> :TauK (TauMEA)	Δκ, CM·M <sup>-1</sup>	SO <sub>2</sub> :TauK (TauMEA)	Δκ, CM·M <sup>-1</sup>
<b>TauK</b>						
298	0,43 : 1,00	-1,03	0,74 : 1,00	-1,43	1,09 : 1,00	-1,63
303	0,48 : 1,00	-0,98	0,74 : 1,00	-1,36	1,06 : 1,00	-1,57
308	0,43 : 1,00	-1,02	0,77 : 1,00	-1,48	1,11 : 1,00	-1,71
313	0,43 : 1,00	-0,39	0,74 : 1,00	-0,61	1,17 : 1,00	-0,78
<b>TauMEA</b>						
298	0,34 : 1,00	-0,59	0,63 : 1,00	-0,96	0,94 : 1,00	-1,16
303	0,34 : 1,00	-0,77	0,60 : 1,00	-1,10	1,00 : 1,00	-1,41
308	0,40 : 1,00	-0,88	0,66 : 1,00	-1,23	1,02 : 1,00	-1,73
313	0,37 : 1,00	-0,24	0,63 : 1,00	-0,42	-	-

Положення максимумів на диференційних рН-метричних кривих титрування збігаються, подібно MEA, DEA, MDEA і TEA [22], як з положенням

стрибків на інтегральних та максимумів на диференційних кривих редокс-метричного титрування (рис. 3.3, табл. 3.2), так і з положенням зламів на кондуктометричних кривих (рис. 3.4, табл. 3.3). Від’ємні значення  $\Delta k$  вказують на утворення в досліджуваних розчинах слабкодисоційованих частинок або/і менш рухливих іонів [19], що підтверджується даними математичних розрахунків, наведених нижче.

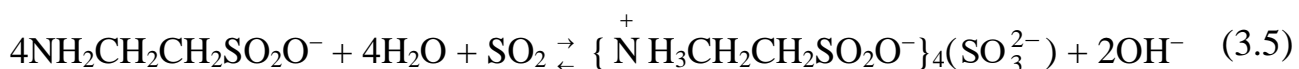
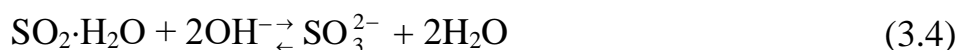
*Фізико-хімічна модель.* У водних розчинах TauK (подібно солям амінометансульфонової кислоти (AMSA) та її N-алкілованих похідних (YAMSA) [25]) значення  $\text{pH} > 7,0$ , що зумовлено гідролізом аміноетансульфонат-іонів (реакція 3.1) з утворенням цвіттеріонів [26]:

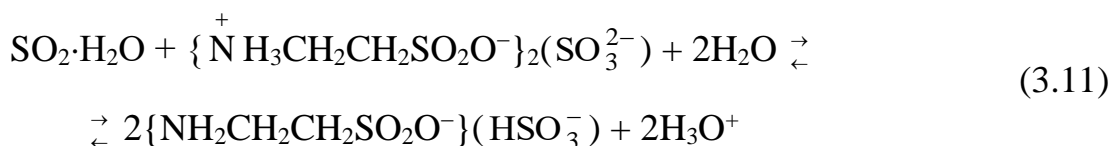
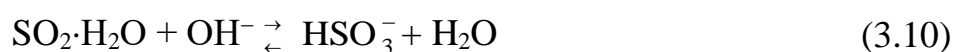
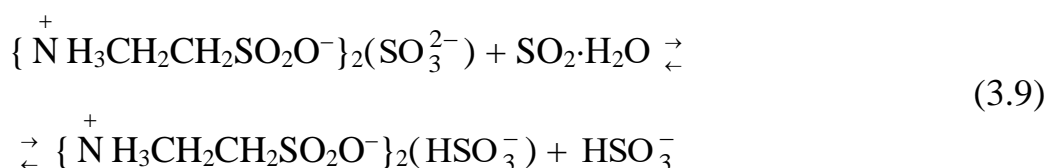
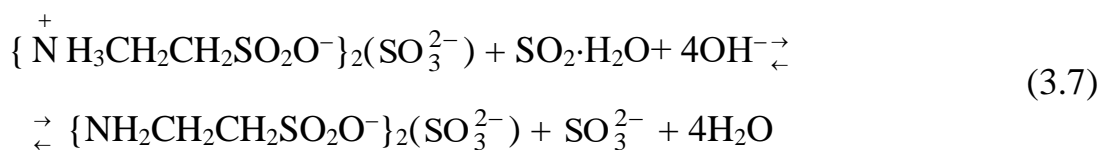
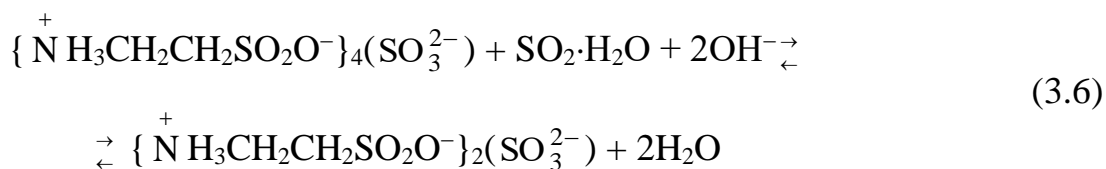


Розчинення  $\text{SO}_2$  у водних розчинах (реакція 3.2) супроводжують утворенням відповідного моногідрату (реакція 3.3) [22]:

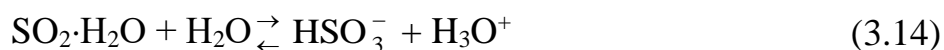
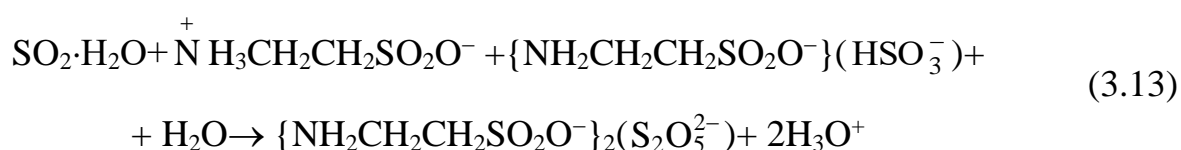
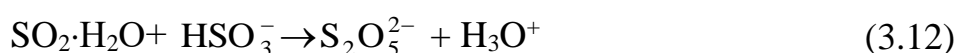


Останній при взаємодії з компонентами хемосорбційної системи утворює сульфитні сполуки (рівняння 3.4–3.7;  $\text{pH} \leq 10,30$ ), які перетворюються в гідросульфитні (рівняння 3.8, 3.9; перший скачок титрування на рН-метричній кривій). Останні два процеси завершуються в слаболужному середовищі ( $\text{pH} 7,45 \div 7,70$ ), на відміну від водних  $0,05 \div 0,20$  моль/л розчинів MEA ( $\text{pH} 6,65 \div 6,80$ ) [19]. В точці середини першого скачка титрування ( $\text{pH} 7,58 \div 8,15$ ) починається реакція (3.10); при цьому паралельно перебігають реакції (3.4), (3.6) – (3.9). В кислому середовищі має місце реакція (3.11).



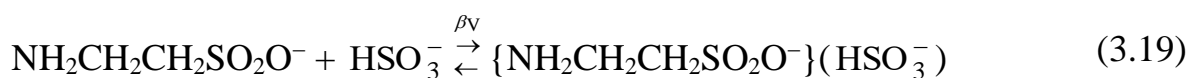
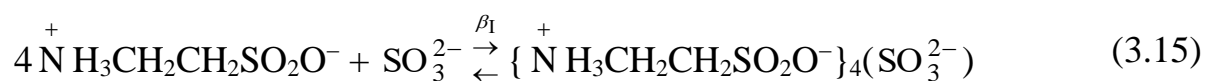


Подальше додавання  $\text{SO}_2$  призводить до переходу гідросульфітних сполук в піросульфітні (рівняння 3.12, 3.13), а процеси (3.1), (3.6) та (3.7) припиняються. При цьому розпочинається реакція (3.14), так як  $\text{pH} < 7,0$ .



В точці середини другого скачка титрування ( $\text{pH} 3,85 \div 4,40$ ) процес (3.11) зупиняється. Наступне пониження  $\text{pH}$  зумовлено лише процесами (3.12) - (3.14). В точці кінця другого скачка титрування  $Q_{\text{SO}_2} : Q_{\text{Тauк}} = (0,90 \div 0,97) : 1,00$  завершується процес (3.13). Подальше зв'язування  $\text{SO}_2$  зумовлено його гідратацією (3.3) та реакціями (3.12), (3.14).

Процеси утворення вище згаданих сульфїтних (I – III) та гїдросульфїтних (IV, V) асоціатів за рахунок електростатичних взаємодїй та Н-зв'язування, аналогічно [25], можна також описати рївняннями (3.15) – (3.19), відповідно.



Було розраховано компонентний (їонний та молекулярний) склад системи  $\text{SO}_2 - \text{TauK} - \text{H}_2\text{O}$  при 298 – 313 K [19]. Згідно отриманим даним, Тау у вказаному розчині при  $Q_{\text{SO}_2}$ :  $Q_{\text{TauK}} \leq 0,28$  ( $\text{pH} \geq 9,25$ ) існує переважно у вигляді аніонів  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_2\text{O}^-$  (рис. 3.5, крива 6). При збільшенні кількості поглинутого  $\text{SO}_2$  до  $Q_{\text{SO}_2}$ :  $Q_{\text{TauK}} < 0,50$  ( $\text{pH} \geq 7,50$ ) зменшується концентрація вказаних аніонів за рахунок його гїдролїтичного перетворення в цвіттерїони (крива 6; реакція 3.1) з послїдовим зв'язуванням у гїдротаурат-сульфїтні I та II, таурат-сульфїтний III та гїдротаурат-гїдросульфїтний IV асоціати (реакції 3.5 – 3.11). Поряд з цим ступїнь зв'язування газоподїбного токсиканту у вигляді вказаних асоціатів (крива 5; найвища при  $Q_{\text{SO}_2}$ :  $Q_{\text{TauK}} \approx 0,20$ ) змінюється антибатно кількості  $Q_{\text{SO}_2}$  в області  $0,20 \leq Q_{\text{SO}_2}$ :  $Q_{\text{TauK}} \leq 0,50$ , подїбно ТЕА [22]. В області існування сполуки II ( $0,17 \leq Q_{\text{SO}_2}$ :  $Q_{\text{TauK}} \leq 0,35$ ) відносний вміст сульфїт іонів (крива 3) збільшується із зростанням вказаного співвїдношення; в найбільш сприятливих умовах асоціату III ( $0,17 \leq Q_{\text{SO}_2}$ :  $Q_{\text{TauK}} \leq 0,35$ ) мольна частка іонів  $\text{SO}_3^{2-}$  коливається в межах  $87,2 \div 97,0$  %.

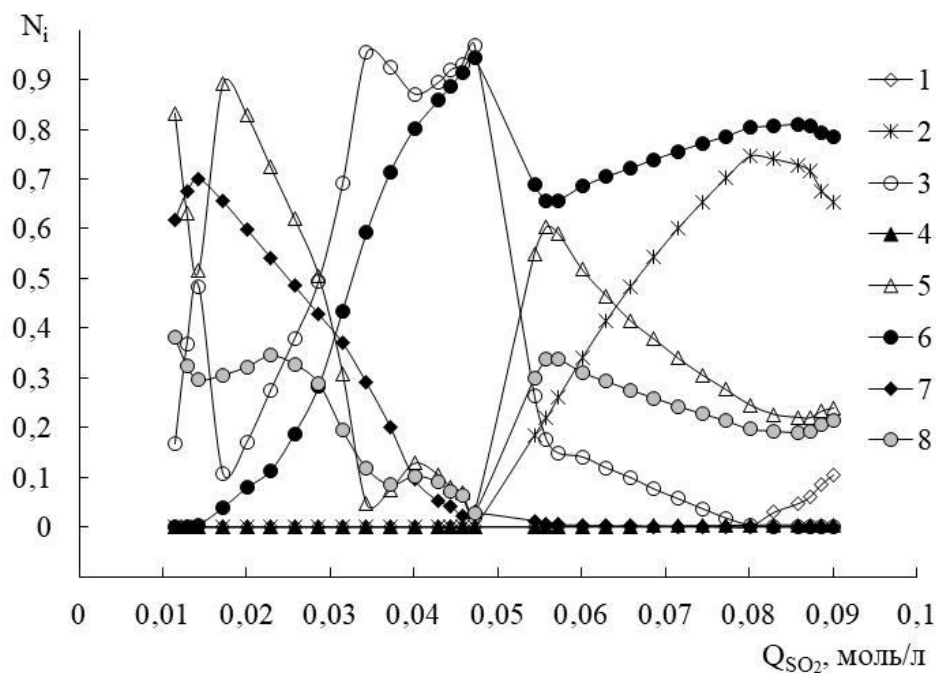


Рисунок 3.5 – Діаграми часткового розподілу різних форм взаємодії у системі  $\text{SO}_2\text{--NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3\text{K--H}_2\text{O}$  залежно від  $Q_{\text{SO}_2}$  при 298 К.  $N_i$  – мольна частка.

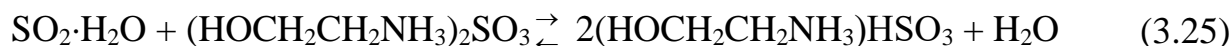
$$N_1 = \frac{[\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]}{Q_{\text{SO}_2}}; N_2 = \frac{[\text{HSO}_3^-]}{Q_{\text{SO}_2}}; N_3 = \frac{[\text{SO}_3^{2-}]}{Q_{\text{SO}_2}}; N_4 = \frac{2[\text{S}_2\text{O}_5^{2-}]}{Q_{\text{SO}_2}};$$

$$N_5 = \frac{C_I + C_{II} + C_{III} + C_{IV}}{Q_{\text{SO}_2}}; N_6 = \frac{[\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_2\text{O}^-]}{Q_{\text{Am}}};$$

$$N_7 = \frac{[\text{NH}_3^+\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_2\text{O}^-]}{Q_{\text{Am}}}; N_8 = \frac{4 \cdot C_I + 2 \cdot C_{II} + 2 \cdot C_{III} + 2 \cdot C_{IV}}{Q_{\text{Am}}}.$$

Подальше поглинання  $\text{SO}_2$  ( $\text{pH} < 7,00$ ) супроводжується зменшенням вмісту  $\text{NH}_3^+\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_2\text{O}^-$  за рахунок їх зв'язування в таурат-гідросульфитний асоціат **V** та пониженням ступеню зв'язування  $\text{SO}_2$  (від 66,1 до 22,0 %) у вигляді вказаного асоціату. За цих умов відбувається відносне накопичення гідросульфит-іонів (крива 2) до 74,6 % при  $Q_{\text{SO}_2} = 0,08$  моль/л в результаті реакцій (3.8) та (3.10), що відповідає другому мінімуму на диференційній редоксметричній кривій титрування (табл. 3.3). Відносний вміст  $\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (крива 1)  $\text{S}_2\text{O}_5^{2-}$  (крива 4) не перевищує 0,9 %, тому існуванням таурат-піросульфитного асоціату зневажали.

Іон-молекулярний склад системи  $\text{SO}_2 - \text{TauMEA} - \text{H}_2\text{O}$  складніший, ніж  $\text{SO}_2 - \text{TauK} - \text{H}_2\text{O}$ , що зумовлено додатковими взаємодіями [22]:



Положення точки кінця другого скачка титрування на рН-метричних кривих відповідає меншому значенню стехіометричного співвідношення  $Q_{\text{SO}_2} : Q_{\text{TauMEA}}$ , ніж  $Q_{\text{SO}_2} : Q_{\text{TauK}}$ , за однієї ж температури (рис. 3.1). Це свідчить про те, що процес “спрацьовування” хемосорбенту у першому випадку, незважаючи на додаткові взаємодії (3.23) – (3.26), настає раніше, ніж у другому. Крім того, друга система характеризується вищими значеннями рН при однаковому вмісті поглинутого  $\text{SO}_2$ , що додатково вказує на більшу ефективність його зв’язування [19]. Тому проводити розрахунок іон-молекулярного складу системи  $\text{SO}_2 - \text{TauMEA} - \text{H}_2\text{O}$  вважалось недоцільним.

### 3.2 Розробка хемосорбентів пролонгованої дії

Відомості про склад для просочування ВН та результати порівняльних випробувань зразків ІВХС наведені в табл. 3.4. З підвищенням вмісту МЕА або ТауК в складі просочуючих розчинів зростає  $\tau_{з.д.}$  відповідних зразків ІВХС-МЕА або ІВХС-ТауК (табл. 3.4), що описується рівняннями виду:

$$\tau_{з.д.} = 5,95 \cdot C_{\text{МЕА}} - 2,27 \cdot C_{\text{МЕА}}^2; R^2 = 0,9941 \quad (3.27)$$

$$\tau_{з.д.} = 19,54 \cdot C_{\text{ТауК}} + 18,50 \cdot C_{\text{ТауК}}^2; R^2 = 0,9868 \quad (3.28)$$

Ступінь “спрацьовування” ІВХС-МЕА антибатно змінюється із вмістом хемосорбенту в його складі:

$$\eta = 47,93 - 19,36 \cdot C_{\text{МЕА}}; R^2 = 0,9736, \quad (3.29)$$

в результаті винесення парів МЕА та продуктів взаємодії з потоком газо-повітряної суміші (ГПС), що узгоджується із даними [27]. Підвищення вмісту ТауК в складі ІВХС сприяє ступеню їхнього “спрацьовування”:

$$\eta = 41,81 + 43,00 \cdot C_{\text{ТауК}}; R^2 = 0,8391. \quad (3.30)$$

Таблиця 3.4

**Компонентний склад просочуючих розчинів та  
характеристики ІВХС на їх основі**

№ з/п	Компоненти у розчині для просочування	Вміст компонентів		$\tau_{\text{з.д.}}$ , хв.	$\eta$ , %
		у просочуючому розчині, моль/л	у складі ІВХС, ммоль/г		
1	МЕА	0,25	0,134	1,5	43,64*
2	МЕА	0,50	0,269	2,5	38,40*
3	МЕА	0,625	0,336	3,0	34,21*
4	МЕА	0,83	0,448	3,5	32,47*
5	МЕА	1,00	0,537	3,7	28,80*
6	ТауК	0,125	0,158	3,0	49,46**
7	ТауК	0,25	0,316	6,5	51,93**
8	ТауК	0,50	0,632	12,0	53,91**
9	ТауК	0,625	0,790	21,5	77,16**
10	ТауК	1,00	1,264	37,8	84,08**
11	МЕА	0,25	0,134	10,0	60,66**
	ТауК	0,125	0,158		
12	МЕА	0,25	0,134	12,0	53,16**
	ТауК	0,25	0,316		
13	МЕА	0,25	0,134	19,0	56,05**
	ТауК	0,50	0,632		
14	МЕА	0,25	0,134	39,2	99,62**
	ТауК	0,625	0,790		
15	МЕА	0,50	0,269	3,0	10,36**
	ТауК	0,125	0,158		
16	МЕА	0,50	0,269	8,5	25,69**
	ТауК	0,25	0,316		
17	МЕА	0,50	0,269	26,0	57,73
	ТауК	0,50	0,632		
18	МЕА	0,50	0,269	1,0	2,21**
	ТауК	1,00	1,264		

\*  $\eta$  - ступінь “спрацьовування” МЕА за реакцією(3.24)

\*\*  $\eta$  - ступінь “спрацьовування” ТауК за реакцією(3.19)

\*\*\*  $\eta$  - ступінь “спрацьовування” ТауК за реакцією(3.19) та МЕА за реакцією(3.25)

Внесення до складу ІВХС на основі 0,25 моль/л МЕА (ІВХС-0,25МЕА) ТауК призводить до синергічного збільшення кількості сорбованого  $\text{SO}_2$ . При цьому підвищується ступінь “спрацьовування” ТауК за реакцією (3.19), а МЕА “спрацьовує” більш глибоко, ніж у випадку ІВХС-0,25МЕА, аж до утворенні гідросульфідів за реакцією (3.25).

Тобто, у даному випадку зразки ІВХС-0,25МЕА-ТауК є хемосорбентами діоксиду сірки пролонгованої дії, а сам ТауК служить промоутором-модифікатором щодо ІВХС-0,25МЕА, запобігаючи винесенню МЕА із поверхні ІВХС потоком ГПС за рахунок утворення іонних асоціатів (подібно [25]) та сприяючи більш глибокому “спрацьовуванню”  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ , аналогічно [23]. Для ІВХС-0,50МЕА зафіксовано лише одне молярне співвідношення МЕА : ТауК = 1,0 : 1,0 у просочуючому розчині, при якому спостерігається синергічна дія хемосорбентів щодо уловлювання  $\text{SO}_2$ .

Таким чином, спостерігається синергічне посилення захисних властивостей щодо  $\text{SO}_2$  та ступеню “спрацьовування” ІВХС-0,25МЕА за рахунок внесення в його склад добавки-промоутера ТауК; ПГЕ, споряджені розробленими зразками ІВХС-0,625ТауК, ІВХС-1,00ТауК, ІВХС-0,25МЕА-0,625ТауК та ІВХС-0,50МЕА-0,50ТауК забезпечують нормовані вимоги для протигазових фільтрів класу Е1 (діоксид сірки).

### **3.3 Розробка ІВХС з пасивною індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності**

При використанні відомих респіраторів момент їх “спрацьовування” встановлюється працівниками відділів охорони праці на основі даних щодо поглинальної ємності (ПГЕ), важкості роботи, що виконує користувач, результатів інструментальних вимірювань рівня забруднення повітря під час експлуатації користувачем респіратору або органолептично [3]. При цьому в першому випадку для одержання необхідної інформації потрібні спеціальне обладнання та підготовлений персонал, а в другому – момент “проскоку”





встановлюється суб'єктивно і може призвести до отруєння користувача. Тобто суттєвий недолік відомих фільтруючих ЗІЗОД, призначених для захисту від АХНР інгаляційної дії, в тому числі кислих газів, – неможливість своєчасного визначення моменту “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності ПГЕ – фіксації проскоку сорбтиву у підмасковий простір.

Тому були розроблені хемосорбенти кислих газів (ІВХС-І), “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності яких можливо візуально визначити за зміною забарвлення ПГЕ на зворотній стороні під час “проскоку” сорбтиву, аналогічно [3, 28]. Вони одержані шляхом просочування ВН водними розчинами, що містять 0,25 М МЕА, 0,625 М ТауК, до складу яких додавались кислотно-основні індикатори (Ind; 0,04 %) з інтервалом переходу забарвлення у межах рН 3,0 ÷ 10,4, аналогічно [3].













Випробування ІВХС-І здійснювались в умовах реального використання ЗІЗОД, описаних вище (розділ 3.1). Відомості про результати випробувань одержаних зразків ІВХС-І приведені в табл. 3.5. Встановлено, що момент початку інверсії кольору на зворотній стороні ПГЕ із ІВХС-І візуально визначається, коли концентрація SO<sub>2</sub> за фільтром досягає 1-2 мг/м<sup>3</sup> (ГДК= 10 мг/м<sup>3</sup>). Згідно отриманим даним, момент “спрацьовування” ІВХС-І візуально можна зафіксувати лише за допомогою бромксиленолового синього, ксиленолового оранжевого, метилового червоного, тропеолін ООО та фенолового червоного з інтервалом переходу забарвлення у межах рН 4,4 ÷ 10,4.

Таблиця 3.5

#### Характеристики індикаторів та забарвлення зразків ІВХС-І на їх основі

№ з/п	Індикатор	Інтервал рН переходу забарвлення [3]	Забарвлення ІВХС-І	
			початкове	після “спрацьовування”
1.	Азолітмін	4,5-8,3		
2.	Лакмоїд	4,4-6,4		
3.	Бромксиленоловий синій	6,0-7,6		

## Продовження таблиці 3.5

4.	Бромфеноловий синій	3,0-4,6		
5.	Конго червоний	7,0-8,8		
6.	Ксиленоловий оранжевий	6,4-10,4		
7.	Метилловий червоний	4,4-6,2		
8.	Тропеолін ООО	7,4-8,6		
9.	Феноловий червоний	6,8-8,4		

Отримано позитивні відгуки працівників МПП “ТОР” (м. Одеса), ПрАТ “Український графіт” (м. Запоріжжя) та ПрАТ “Дніпровський металургійний комбінат” (м. Дніпродзержинськ) щодо захисних, експлуатаційних і ергономічних характеристик протигазових та газопилозахисних ФР, споряджених ПГЕ з ІВХС та ІВХС-І (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

**Легкі фільтруючі газопилозахисні респіратори, що споряджаються ПГЕ з ІВХС [19] та ІВХС-І**

Найменування, тип, клас респіратора (відповідність вимогам), технічні умови на виробництво	Захисна функція	
 ТУ У 32.9-01530125-007:2022	<b>«КЛЕН»FME1</b> (ДСТУ EN 14387:2017)	Кислі гази і пари кислот
	<b>«КЛЕН» FM E1P2</b> (ДСТУ EN 14387:2017)	Кислі гази і пари кислот, аеродисперсні частинки
 ТУ У 28.2-01530125-022:2022	<b>«ШАХТАР» FME1</b> (ДСТУ EN 14387:2017)	Кислі гази і пари кислот
	<b>«ШАХТАР» FM E1P2</b> (ДСТУ EN 14387:2017)	Кислі гази і пари кислот, аеродисперсні частинки

### ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

1. Розроблені ІВХС кислих газів пролонгованої дії, що забезпечують нормовані вимоги (час захисної дії становить 20 хвилин і більше з концентрацією  $\text{SO}_2$  у ГПС –  $2700 \text{ мг/м}^3$ ) для протигазових фільтрів класу Е1 (діоксид сірки).

2. Розроблено ІВХС-І кислих газів, момент “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності яких можливо візуально визначити за зміною забарвлення протигазових елементів під час “проскоку” сорбтиву.

3. Зразками ІВХС та ІВХС-І за п 1 та 2 споряджаються ППЕ протигазових та газопилозахисних ФР.

Основні результати дослідження опубліковані у [19, 29].

## ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ 3

1. Ren S., Hou Y., Wu W., Liu Q., Xiao Y., Chen X. Properties of Ionic Liquids Absorbing SO<sub>2</sub> and the Mechanism of the Absorption. *J. Phys. Chem. B*. 2010. Vol. 114, N 6. P. 2175–2179. DOI: 10.1021/jp9108859
2. Jin M., Hou Y., Wu W., Ren S., Tian S., Xiao L., Lei Z. Solubilities and Thermodynamic Properties of SO<sub>2</sub> in Ionic Liquids. *J. Phys. Chem. B*. 2011. Vol. 115, N 20. P. 6585–6591. DOI: 10.1021/jp1124074
3. Khoma R.E., Ennan A.A.-A., Bienkovska T.S., Dlubovskii R.M., Vodzinskii S.V., Mykhailova T.V. The impregnated fibrous chemisorbents for colorimetric detection of the sulfur dioxide. *Укр. хім. журн.* 2022. Т. 87, № 1. С. 35–48. DOI: 10.33609/2708-129X.88.01.2022.35-48
4. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Захаренко Ю.С., Беньковська Т.С., Книш І.М. Моно- та біфункціональні імпрегновані волокнисті хемосорбенти респіраторного призначення. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2022. Т. 27, № 1. С. 5–30. DOI: 10.18524/2304-0947.2022.1(81).248297
5. Патент України на корисну модель UA73387, МПК B01D 39/16. Склад для просочування фільтруючого матеріалу. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Шевцова Н.І., Короєва Л.В., Гельмбольдт В.О. № u201201951; заявл. 21.02.2012; опубл. 25.09.2012. Бюл. № 18.
6. Патент України на корисну модель UA94660, МПК B01D 39/00. Склад для просочування фільтруючого матеріалу. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.Н., Наумчак В.А. № u201405985; заявл. 02.06.2014; опубл. 25.11.2014. Бюл. № 22.
7. Патент України на корисну модель UA94661, МПК B01D 39/00. Склад для просочування фільтруючого матеріалу. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.Н., Наумчак В.А. № u201405986; заявл. 02.06.2014; опубл. 25.11.2014. Бюл. № 22.
8. Патент України на корисну модель UA 113022, МПК C09K 21/10, B01D 39/00, D06M 11/00 Склад для просочування фільтруючого матеріалу. Еннан

А.А.-А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.М. № u201606322; заявл. 10.06.2016; опубл. 10.01.2017. Бюл. № 1.

9. Патент України на корисну модель UA119094, МПК C09K 21/10, B01D 39/00, D06M 11/00 Склад для просочування фільтруючого матеріалу. Еннан А.А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.М. № u201703108; заявл. 03.04.17, опубл. 11.09.17. Бюл. № 21.

10. Патент України на корисну модель UA133559, МПК B01D 39/00. Склад для просочування фільтруючого матеріалу. Еннан А.А., Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М. № u201811395; заявл. 19.11.2018; опубл. 10.04.2019. Бюл. № 7.

11. Патент України на корисну модель UA144039, МПК B01D 39/00. Склад для просочування фільтруючого матеріалу. Еннан А.А.-А, Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Абрамова Н.М. № u202002248; заявл. 06.04.2020; опубл. 25.08.2020. Бюл. № 16.

12. Патент України на корисну модель UA 149123, МПК B01D 39/00, A61D 9/00. Спосіб отримання хемосорбційного матеріалу. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М., Беньковська Т.С. № u202102500; заявл. 12.05.2021; опубл. 20.10.2021. Бюл. № 42.

13. Deng R., Jia L., Song Q., Su S., Tian Z. Reversible absorption of SO<sub>2</sub> by amino acid aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.* 2012. Vol. 229-230. P. 398–403. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.06.020

14. Deng R., Jia L. Reversible removal of SO<sub>2</sub> at low temperature by L- $\alpha$ -alanine supported on  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Fuel*. 2012. Vol. 93. P. 385–390. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.11.024

15. Kim K., Park H.S., Lim H., Kang J.H., Park J., Song H. Sulfur dioxide absorption characteristics of aqueous amino acid solutions. *J. Ind. Eng. Chem.* 2022. Vol. 105. P. 491–501. DOI: 10.1016/j.jiec.2021.10.011

16. Kim K., Lim H., Park H.S., Kang J.H., Park J., Song H. Reversible sulfur dioxide capture by amino acids containing a single amino group at low sulfur dioxide

concentrations. *Env. Sci. Pollut. Res.* 2023. Vol. 30. P. 52013–52025. DOI: 10.1007/s11356-023-25982-x

17. Tully P.S. Sulfonic acids. *Kirk-Othmer Encyclopedia Chem. Technol.* Wiley, 2000. 22 p. DOI: 10.1002/0471238961.1921120620211212.a01

18. China Taurine. URL: [www.chinataurine.net/](http://www.chinataurine.net/)

19. Хома Р.Є., Беньковська Т.С., Гельмбольдт В.О., Клімов Д.Г., Горліченко М.Г. Склад та відносна стійкість продуктів взаємодії оксиду сірки (IV) з водними розчинами таурату калію та моноетаноламонію. Хемосорбент пролонгованої дії. *Вісник ОНУ. Хімія.* 2023. Т. 28. № 3. С. 35–52. DOI: 10.18524/2304-0947.2023.3(86).297810

20. ДСТУ EN 14387:2017 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри протигазові та фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування (EN 14387:2004 + A1:2008, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 14 с.

21. Khoma R.E., Shestaka A.A., Gavrilenko M.I., Sokhranenko G.P., Gelmboldt V.O. Complexing of sulfur(IV) oxide with hexamethylenetetramine and hexamethylenediamine in aqueous solutions. *Russ. J. Appl. Chem.* 2011. Vol. 84, N 1. P. 17-24. DOI:10.1134/S1070427211010034

22. Khoma R.E., Shestaka A.A., Gelmboldt V.O. On interaction of sulfur(IV) oxide with aqueous solutions of ethanolamines. *Russ. J. Appl. Chem.* 2012. Vol. 85, N 11. P. 1667–1675. DOI: 10.1134/S1070427212110067

23. Еннан А.А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.М., Михайлова Т.В., Барбалат Д.О. Вплив модифікуючих добавок на хемосорбцію оксиду сірки (IV) волокнистим матеріалом, імпрегнованим поліетиленполіаміном. *Вісник ОНУ. Хімія.* 2020. Т. 25, № 4. С. 56–73. DOI: 10.18524/2304-0947.2020.4(76).216927

24. Хома Р.Є. Склад та відносна стійкість продуктів взаємодії оксиду сірки (IV) з водними розчинами морфоліну та N-алкілованих похідних моноетаноламіну. *Питання хімії та хімічн. технолог.* 2015. № 5. С. 42–46.

25. Khoma R.E., Ennan A.A., Dlubovskii R.M., Ishkov Yu.V., Bienkovska T.S., Rakhliitskaya E.M. Equilibrium Processes in  $\text{AlkNHCH}_2\text{SO}_3\text{H}-\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}-\text{H}_2\text{O}$

Solutions. *Russ. J. Gen. Chem.* 2021. Vol. 91, N 4. P. 583–592. DOI: 10.1134/s1070363221040010

26. Хома Р.Є., Еннан А.А.-А., Длубовський Р.М., Беньковська Т.І. Буферні системи на основі таурину. *Вісник ОНУ. Хімія.* 2021. Т. 26, № 1. С. 4864. DOI: 10.18524/2304–0947.2021.1(77).226146

27. Еннан А.А.-А., Хома Р.Є. Імпрегновані волокнисті хемосорбенти кислих газів респіраторного призначення. *Вісник ОНУ. Хімія.* 2017. Т. 22, № 4. С. 53-68. DOI: 10.18524/2304-0947.2017.4(64).115924

28. Книш І.М. *Обґрунтування параметрів каркасів легких фільтрувальних півмасок швидкого прилаштування.* Дис. ...докт. філософії. 263. Дніпро: НТУ “Дніпровська політехніка”, 2022. 183 с.

29. Патент України на корисну модель UA156209, МПК В 01D 39/00. Спосіб отримання хемосорбційного матеріалу. Р.Є. Хома, Ю.С. Захаренко, Д.Г. Клімов, Ю.В. Ішков, С.В. Водзінський. ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України. № u202305658; заявл. 24.11.2023; опубл. 22.05.2024. Бюл. № 21.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РЕСПІРАТОРА З ПРИМУСОВОЮ ПОДАЧЕЮ ПОВІТРЯ

#### **4.1 Розробка конструкції фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря**

У даному розділі представлені результати розробки блока очищення і примусового подавання повітря у підмасковий простір призначений для використання у складі фільтрувального ЗІЗОД або саморятівника, що забезпечує захист органів дихання від аеродисперсних часток різного походження (пил, дим, туман), а також кислих, основних та простих неорганічних сполук у вигляді газів та парів та оксиду вуглецю (II) [1, 2]. Принцип дії блока очищення повітря полягає в тому, що забруднене зовнішнє повітря очищується завдяки аспіраційно-фільтрувальній системі і через з'єднувальний шланг подається у підмасковий простір користувача (рис. 4.1). У порівнянні з існуючими прототипами, конструкція фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря відрізняється наявністю спеціального блока контролю об'єму та якості очищеного повітря, яке вдихається. Цей блок працює в автоматичному режимі, регулюючи об'єм повітря у підмасковому просторі з урахуванням частоти і глибини дихання користувача під час виконання фізичних навантажень [1, 3].

Розроблена конструкція фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря (див. рис. 4.2) складається з захисного шолому-маски (1), який герметично прилягає до обличчя користувача за допомогою обтюратора (2) і фіксується з можливістю регулювання сили притискання за допомогою ремінців наголів'я (3). Шолом-маска (1) має клапани вдиху (6) та видиху (7) та з'єднана гнучким гофрованим повітропроводом (5) з пристроєм очищення повітря (4).



На рис. 4.3 показана конструкція пристрою для очищення повітря. У корпусі цього пристрою розміщені: блок керування, стабілізатор напруги з блоком живлення, блок контролю параметрів повітряного потоку, а також багатофункціональна система датчиків, встановлених у корпусі пристрою (див. рис. 4.4, 4.5), яка дозволяє регулювати основні параметри повітряного потоку у підмасковому просторі шляхом контролю кількості обертів вентилятора в заданому діапазоні.

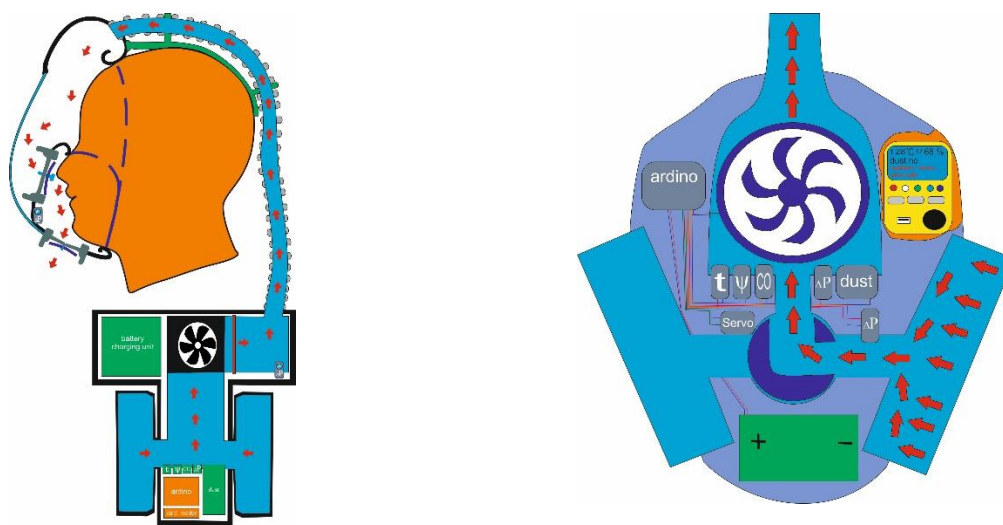


Рисунок 4.1 – Схема роботи респіратору з примусовою подачею повітря

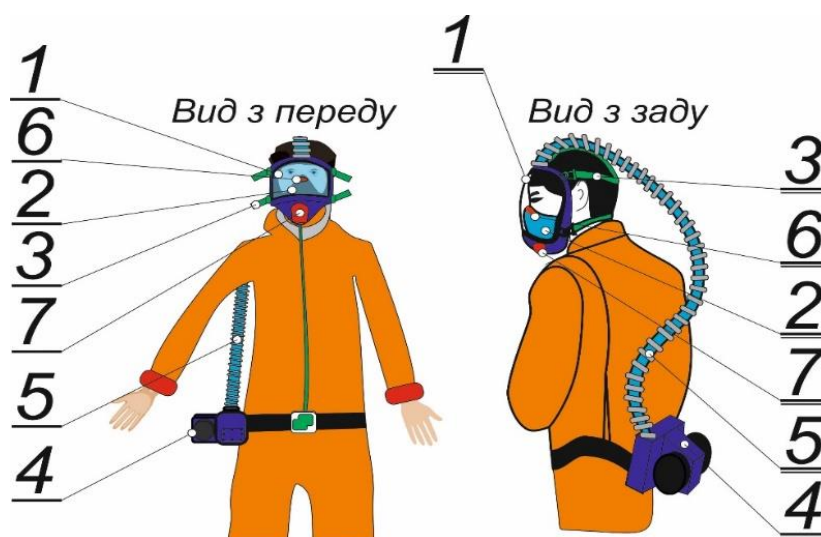


Рисунок 4.2 – Загальний вид фільтрувального респіратору з примусовою подачею повітря на користувачі: шолом-маска 1; обтюратор (2); ремінці наголів'я (3); пристрій очищення повітря (4); гофрований повітропровод (5); клапан вдиху/видиху (6, 7)

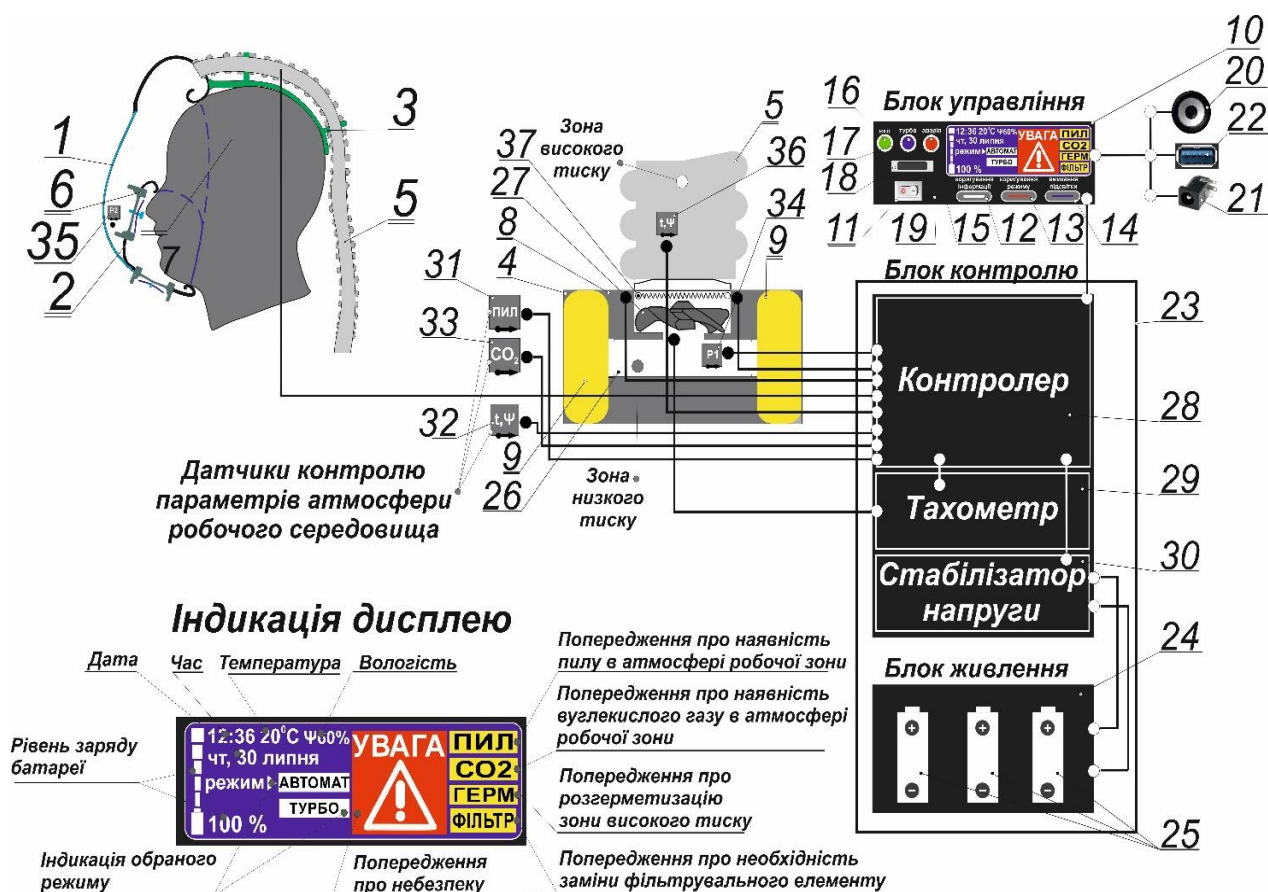


Рисунок 4.3 – Схематично-конструктивна схема фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря: шолом-маска (1), обтюратор (2), ремінь наголів'я (3), пристрій очищення повітря (4), гнучкий гофрований повітропровід (5), клапан вдиху (6), клапан видиху (7), корпус пристрою очищення повітря (8), фільтрувальні елементи (9), блок керування (10), тумблер «Вмикання/вимикання» (11), кнопка №1 (12) – «Коригування інформації» (час, день тижня, місяць, температура навколишнього середовища, вологість); кнопка №2 (13) «Коригування режиму» (автоматичний режим, турборежим, аварійний режим); кнопка №3 (14) - «Підсвітка дисплею»; світлові індикатори: - світловий індикатор червоного кольору (15) - «Аварія», світловий індикатор синього кольору (16) - «Турбо», світловий індикатор зеленого кольору (17), карта пам'яті (18), дисплей (19), гучномовець (20), роз'єм для підзарядки елементів живлення (21), USB-роз'єм для підключення к ПЕОМ для налаштування і коригування програмного забезпечення роботи пристрою для очищення повітря (22), блок контролю (23), блок живлення (24) в склад якого входять три елемента живлення (25), канал (26), вентилятор (27), контролер (28), тахометр (29), стабілізатор напруги (30), датчик контролю наявності пилу в атмосфері робочої зони (31), датчик контролю температури і вологості в атмосфері робочої зони (32), датчик контролю концентрації вуглекислого газу в атмосфері робочої зони (33), датчик контролю тиску в зоні низького тиску (34), датчики контролю тиску в зоні високого тиску (35), датчик контролю температури і вологості в зоні високого тиску (36), підігрівач очищеного повітря (37).

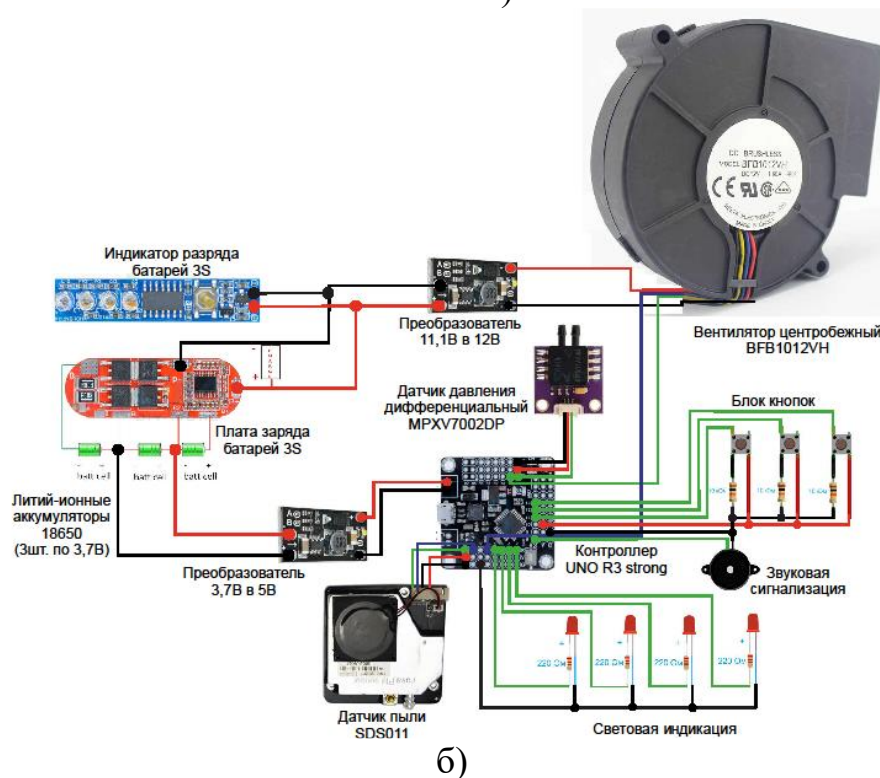
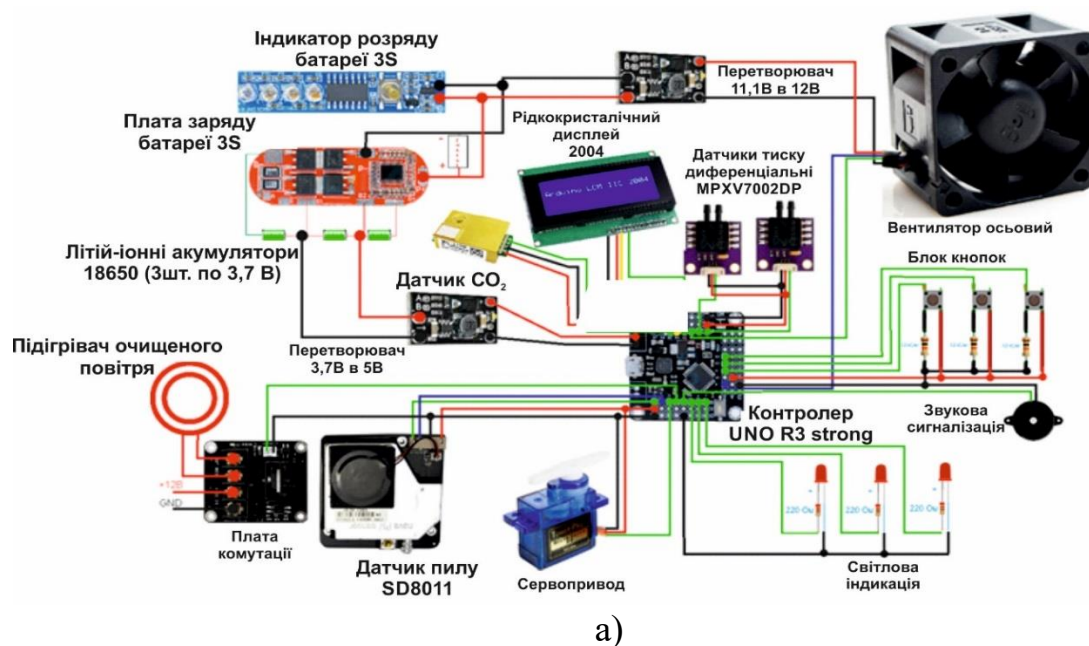


Рисунок 4.4 – Схеми блока контролю за параметрами повітряного потоку з різними варіантами вентиляторів (тип. 1) (а) і тип 2 (б) (спонукачів)

У фільтрувальному респіраторі з примусовою подачею повітря втілено кілька режимів функціонування:

- автоматичний режим ґрунтується на вхідних сигналах від датчиків, що моніторять параметри повітря. Ця інформація передається до контролера, де проводиться її аналіз за певним алгоритмом (див. рис. 4.6), і здійснюється



керування обертами вентилятора, підігрівачем очищеного повітря, індикацією та сигналізацією, що відображається на екрані блока очищення повітря;

- режим Турбо, який активується в разі значного забруднення фільтрувальних елементів з метою збільшення обертів вентилятора. Це регулюється контролером при отриманні відповідних сигналів від датчиків контролю;



Рисунок 4.5 – Конструктивні елементи кожного блока, що являються складовими пристрою очищення повітря

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

В табл. 4.1 наведена детальна інформація про режими роботи фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря з відповідним відображенням на дисплеї:



Рисунок 4.6 – Алгоритм роботи блока керування фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря

Особливістю роботи фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря в автоматичного 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 [4]:

$$V_{out} = VS \times (0,2 \times P + 0,5) \pm 6,25\%VFSS, V \quad (4.1)$$

де  $V_{out}$  – рівень напруги вихідного сигналу, В;  $V_S$  – напруга живлення, В,  $V_S = 5$  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 використовується 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), то 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 [5]:

$$N = 30 \times f_m, \text{ об/хв.}$$

Сигнал з тахометра  $f_m$  подається в контролер, де порівнюється з частотою  $f_z$ , що відповідає необхідній витраті повітря і в разі виникнення умови  $f_m > f_z$ , 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<sup>-1</sup>); середній режим роботи, який характеризується подачею повітря - 170-180 л/хв. (оберти вентилятора знаходяться в діапазоні 1100-1200 хв<sup>-1</sup>); важкий режим роботи, який характеризується подачею повітря на рівні 190-220 л/хв., (оберти вентилятора знаходяться в діапазоні 1300-1700 хв<sup>-1</sup>). Інформація з датчика перепаду тиску постійно надходить до блока контролю та зберігається на карті пам'яті.

Таблиця 4.1

## Режими функціонування фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря

Зображення інформації дисплею блока керування в залежності від режиму роботи	Алгоритм вмикання пристрою у відповідному режимі
<b>1. Підготовка пристрою до роботи</b>	
<p>День тижня, дата, місяць Час Температура Вологість Ступінь заряду</p> <p>17 19 10 11 13 14</p>	<p>Для активації пристрою потрібно увімкнути перемикач "Вмикання/вимикання" (11). Після цього на дисплеї блока керування (10) засвітиться світлодіод зеленого кольору "Вкл." (17). Потім можна відкоригувати інформацію на дисплеї за допомогою кнопки "Коригування інформації" (12), включаючи день тижня, дату, місяць та час (години, хвилини). Також перевіряється температура та вологість повітря в робочій зоні. Функціональність підсвітки дисплея (19) перевіряється за допомогою кнопки "Вмикання підсвітки" (14). Для оцінки рівня заряду блока живлення (24) перевіряється індикатор стану заряду (25), який миготить, якщо залишкова ємність елементів живлення (25) складає менше 25-30%. У разі зниження напруги на акумуляторі до 2,8-3 Вентилятор (27) автоматично вимикається.</p>

## 2. Продувка пристрою очищення повітря



Щоб почати продувку пристрою, спочатку треба ввімкнути тумблер "Вмикання/вимикання" (11). Після цього на дисплеї (19) блока керування (10) засвітиться світлодіод зеленого кольору "Вкл." (17). Потім натисніть кнопку "Вмикання підсвітки" (14) і кнопку "Коригування режиму" (13). За допомогою кнопки "Коригування режиму" (13) встановлюється режим "автоматичний". Після цього вентилятор (27) почне обертатися, нагнітаючи повітря з навколишнього середовища в шолом-маску (1). Під час цього вентилятор (27) працюватиме на постійній швидкості. Користувач може перевірити, чи надходить повітря в шолом-маску, притиснувши до неї долоню руки.



### 3. Робота пристрою в автоматичному режимі

Індикація дисплею при наявності пилу в атмосфері.



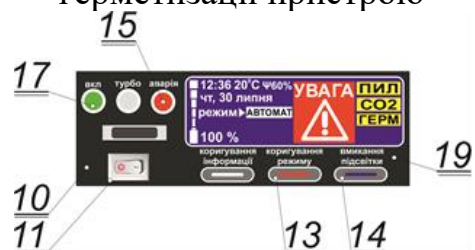
Індикація дисплею при наявності в атмосфері CO<sub>2</sub>



Індикація дисплею при наявності в атмосфері пилу і CO<sub>2</sub>



Індикація дисплею при втраті герметизації пристрою



Для активації роботи пристрою у автоматичному режимі спочатку треба натиснути тумблер "Вмикання/вимикання" (11). Після цього на дисплеї (19) блока керування (10) запалиться світлодіод зеленого кольору "Вкл." (17). Потім натисніть кнопку "Вмикання підсвітки" (14) і кнопку "Коригування режиму" (13). За допомогою кнопки "Коригування режиму" (13) встановлюється режим "автоматичний". Після цього вентилятор (27) розпочне обертатися, нагнітаючи повітря з навколишнього середовища в простір шолом-маски (1). Користувач повинен надіти шолом-маску (1) на обличчя і регулювати щільність притискання шолом-маски (1) до голови за допомогою ремінців наголів'я, а також уважно перевірити комфортне притискання обтюратора до обличчя. Крім того, користувач повинен перевірити 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 надягає шолом-маску (1) і 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 CO<sub>2</sub>



Для активації режиму "Турбо" пристрою, спочатку треба натиснути тумблер "Вмикання/вимкання" (11). Після цього на дисплеї (19) блока керування (10) спалахне світлодіод зеленого кольору "Вкл." (17). Далі, натисніть кнопку "Вмикання підсвітки" (14) і кнопку "Коригування режиму" (13). За допомогою кнопки "Коригування режиму" (13) встановлюється режим "Турбо", при цьому світлодіод синього кольору "Турбо" (16) буде активований, а на дисплеї (19) з'явиться попередження "УВАГА!", "ФІЛЬТР". Після цього вентилятор (27) почне обертатися на максимально можливих обертах, нагнітаючи повітря з зовнішнього середовища в простір шолом-маски (1) для доставки до органів дихання користувача.

Датчик CO<sub>2</sub> – умовне позначення випробуваних електрохімічних сенсорів, які визначають концентрацію оксиду вуглецю (II) в повітрі за допомогою вимірювання електричного струму [6], що генерується на робочому електроді у процесі низькотемпературного електрохімічного окиснення CO<sub>2</sub>.

Відмінними особливостями використаних електрохімічних датчиків оксиду вуглецю (II) є лінійний вихідний сигнал пропорційний концентрації газу, достатньо висока селективність до CO<sub>2</sub>, мале енергоспоживання, що надає можливість застосування батарейного живлення, а отже застосування в портативній електроніці, малі габаритні розміри і вага; їх конструкція є вібро- і ударостійкою; відповідає стандартам з сучасних вимог безпеки UL 2034 (Underwriters Laboratories, США) [7] і ДСТУ EN50291.

Живлення блока очищення повітря електричним струмом реалізується за допомогою акумуляторного блоку (АБ), у якому в якості джерела живлення

використана чотирьох елементна літій-полімерна акумуляторна батарея «Dinogy Li-Pol 6000mAh 14.8V 4S 30C» [8], контроль за розрядом котрої під час роботи пристрою здійснюється блоком мікроконтролера (рис. 4.3) таким чином, щоб:

- звуковим та світловим сигналами попередити користувача про залишок часу роботи пристрою на рівні не менш 5 хв. (для можливості своєчасного і безпечного і покидання робочої зони);

- при зниженні напруги на будь-якому з 4-х елементів до  $3,2 \div 3,0$  В, з метою запобігання надмірного розряду і виходу батареї з ладу вентилятор або турбоблок повністю відключається.

Як буде показано нижче, час безперервної роботи блока очищення повітря до безпечного рівня розрядження батареї «Dinogy Li-Pol 6000mAh 14.8V 4S 30C» складає не менш 2,5 год [9]. При необхідності більш тривалого часу роботи в АБ (без зміни його конструкції) можна застосувати батарею «Dinogy Li-Pol 11000mAh 14.8V 4S 25C» у цьому разі час безперервної роботи пристрою збільшується до не менш 5,5 год [9]. Також АБ обладнано вбудованим у декоративну кришку корпусу світлозвуковим блоком індикації (БІ), що дозволяє контролювати рівень напруги батареї перед початком або на будь-якому етапі роботи блока очищення повітря.

## 4.2 Обґрунтування вибору захисної маски

Важливою складовою частиною індивідуального захисного пристрою з примусовою подачею повітря є повнолицьові маски, які забезпечують ізолювання органів дихання користувача від навколишнього середовища. Від їх загальної конструкції, форми обтюратора, клапанної системи та інших складових залежать ергономічні і захисні властивості ЗІЗОД в цілому. Тому виникає зацікавленість у дослідженні характерних ознак масок від відомих виробників з метою визначення найбільш прийнятної конструкції. Для аналізу були використанні найбільш відомі і поширені маски: 3M Full Facepiece FR-

7800B, AVON CBRN FM12, SURVIVAIR Opti-Fit CBRN Gas Mask, North Safety Products 54501 CBRN, MSA Millennium CBRN Gas Mask, MSA Ultra Elite CBRN Gas Mask, характеристики яких зустрічаються в відкритих джерелах інформації [9-20]. Основні їх характеристики наведені у табл. 4.2.

У першій роботі авторами була використана рейтингова система за 100 бальною шкалою. Для оцінки були задіяні 10 висококваліфікованих експертів, які оцінювали їх за критеріями:

- легкість надягання та знімання;
- безпечність та зручність;
- комфортність лицьової частини;
- сумісність зі шкірою;
- поле зору;
- мовне спілкування;
- комфортність дихання.








Процедура випробувань складалась з виконання різних фізичних вправ: ходіння зі швидкістю 6 км/год; повороти тулуба та голови, розмова, нахили тулуба, присідання та інших з одягненими масками та відповідей на анкету із запитаннями стосовно загальної оцінки. Відповіді були згруповані у табл. 4.3.

З проведених досліджень можна зробити висновок, що на ізолювальні властивості півмасок найбільше впливає антропометрія обличчя, конструкція обтюлятора (ущільнювача) та наголів'я, тип матеріалу з якого виготовлена маска, вид виконуваних робіт, розташування фільтра.

Експертами були відмічені, як вдалі конструктивні рішення так і недоліки. Наприклад, позитивно відмічені можливість зміни розташування фільтрувальної коробки з різних боків так і по центру AVON CBRN FM12; м'який обтюратор, що повторює контур обличчя у MSA Millennium CBRN Gas Mask (рис. 4.7), зручне наголів'я у MSA Millennium CBRN Gas Mask.

Таблиця 4.2

## Фільтрувальні маски від аерозолів і газів

Марка	3M Full Facepiece FR-7800B	AVON CBRN FM12	SURVIVAIR Opti-Fit CBRN Gas Mask	North Safety Products 54501 CBRN	MSA Millennium CBRN Gas Mask	MSA Ultra Elite CBRN Gas Mask	Dräger Full Face Mask 7000
Зображення							
Тип з'єднання	різбовий	різбовий	Різбовий, з позиціонуванням	різбовий	<b>різбовий</b>	різбовий	-
Матеріал	Butyl Rubber	butyl/silicon rubber	Butyl Rubber	Thermoplastic Elastomer	Нускар rubbe	Нускар rubbe	EPDM
Призначення, області застосування	Рекомендується використовувати у військових, пожежних та санітарних операціях, а також у різних галузях промисловості при надзвичайних ситуаціях як для спорядження саморятівників від всіх видів біологічних та радіоактивних аерозолів (пил, туман, дим, смог, вірусні частки), а також для газів і парів						
Особливості	Має унікальний подвійний обтюратор, що підвищує придатність та захист та переговорну мембрану, яка підсилює голос. Маєб стрічок кріплення наголів'я.	Має незначний внутрішній об'єм (низький профіль), це забезпечує низький вміст CO <sub>2</sub> до 0,76% і незначний опір диханню. Має переговорну мембрану і апарат для пиття. В обтюраторі розміщений спеціальний "pillow", який дозволяє щільно прискати маску до обличчя. Маєб пружних ременів кріплення наголів'я і еластичну сітку, яка зменшує навантаження на голову. Дві верхні пряжки регульовані	Велике поле обзору, підмасочник виконаний з силікону для комфортного прилягання, п'ять точок кріплення наголів'я, яке виконане у формі сітки, подвійний силіконовий обтюратор. Трубка для напоїв, переговорна мембрана	Газова маска чорна з єдиною полікарбонатною лінзою, внутрішньою окулярною / назальною чашечкою і чотирма ремінними джгутами	Шеститочкове кріплення наголів'я, трубочка для напоїв, два клапани видихання у підмасочнику, механічна мовна діафрагма. Комп'ютерний дизайн маски на основі оцінки 8000 осіб. Маска низько профільна зі зменшеним вмістом CO <sub>2</sub> . Легке регулювання.	Супер м'який обтюратор з rubber Head Harness. Велике поле огляду, Clear Command підсилювач голосової передачі. П'ять точок кріплення гумових стрічок наголів'я.	Обтюратор подвійний з трьома ущільнювальними краями для зручного та безпечного розміщення практично будь-якої форми обличчя. П'ять широких точок кріплення стрічок наголів'я. Велике поле зору. Спеціальна вентиляційна система. Містить систему зв'язку. Має регульовані ремені наголів'я.

### Результати експертної оцінки масок

Номер маски	Загальна оцінка	Легкість одягання	Безпечність, зручність	Комфортність	Поле зору	Комфортність дихання
1	69	15	18,2	17,7	14,7	3,4
2	68,8	17	16,7	16,8	15,1	3,2
3	67,8	16,7	17,4	16,2	14,1	3,5
4	66,4	15,3	16,7	17,6	14,2	2,7
5	65,8	15,2	16,8	16,3	14,1	3,4
6	62,4	14,5	16,1	15,1	13,4	3,3

До негативних характеристик масок слід віднести конструкцію пряжок наголів'я, що викликало тривалу підгонку маски особливо відмічену у 3М Full Facerіесе, змушує експертів відзначити, що розміри підмасочників не зовсім співпадали з розмірами масок. Багато нарікань було і до форми носової чашки і ваги фільтрувальних коробок, які значно впливали на працездатність. За даними проведеної експертної оцінки найкращою була визнана маска під номером 1 – Full Facerіесе FR-7800В.



Рисунок 4.7 – Смуга обтюрації маски MSA Millennium

Виходячи з результатів проведеного аналізу низка інших авторів запропонувала рекомендації щодо покращення ізолювальних властивостей масок [31, 32], провела порівняльні дослідження з визначення коефіцієнта підсмоктування у лабораторних умовах між масками Full Facerіесе FR-7800В і

Dräger Full Face Mask, яка вважається кращою європейською маскою [33], визначила проблемні місця масок, де фіксується найбільше підсмоктувань та удосконалила програми щодо проектування масок.

Так, найпростішим способом покращення ізолювальних властивостей є застосування поролонових вставок у порожнину обтюратора (рис. 4.8). Однак, з опублікованих досліджень видно, що кращою конструкцією обтюратора є подвійний ущільнювач (double-bladed respirator seal у Dräger Full Face Mask (табл. 4.4), тоді як найбільш проблемними місцями масок, визнаються область щік, де фіксується 70 % підсмоктувань. Встановлено, що на ізолювальні властивості впливає кваліфікація і тренування робітників. Маска може через різні причини сповзти чи послабити притискні зусилля під час виконання вправ, що повинно бути відразу відмічене і виправлене користувачем.

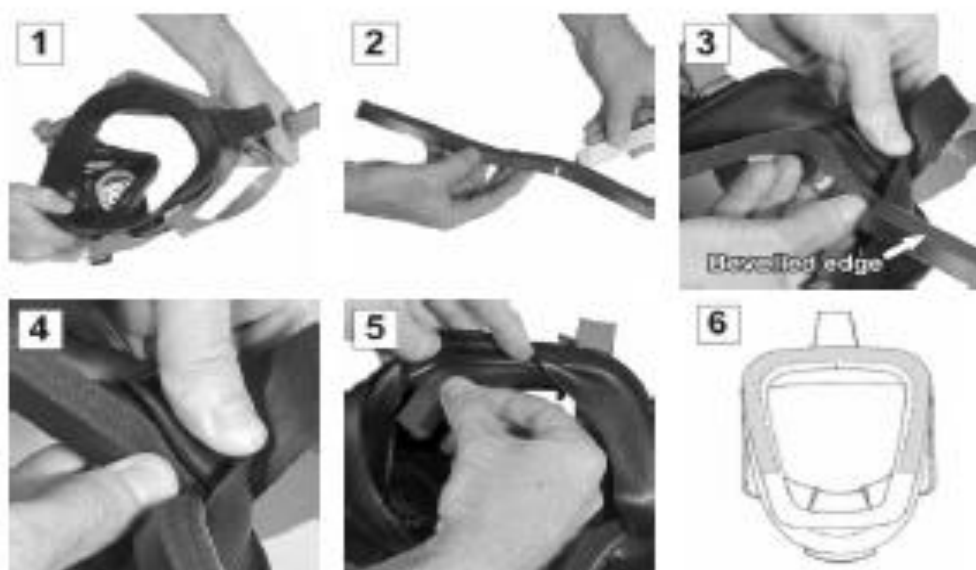


Рисунок 4.8 – Підгонка маски до обличчя за допомогою поролонових вставок у обтюратор

Таблиця 4.4

#### Результати експерименту

Форма обличчя	Підсмоктування, мл/хв		Кількість учасників
	DRAGER	3M Full	
Овальне обличчя	2,5	44	15
Прямокутне обличчя	5,5	450	14

Заокруглене обличчя	2,8	146	9
---------------------	-----	-----	---

Відмітимо, що випадку використання засобів захисту з примусовою подачею повітря частина вищезгаданих факторів, які погіршують захисні властивості буде відсутня, оскільки під маскою буде створено підвищений тиск, що мінімізує потрапляння до органів дихання шкідливих домішок. Однак, існує ймовірність зменшення підмаскового тиску через падіння подачі повітря нижче 160 л/хв пов'язаного із забиванням фільтрів і зростанням їх опору, розгерметизації і утворення щілин під час виконання робіт з підняттям голови у вверх, бігу та неправильному виборі маски [34].

### **4.3 Обґрунтування вибору вентилятора для пристрою очищення повітря**

Відомо [35, 36], що рухова активність людини та інтенсивність дихання взаємопов'язані: поглиблення і почастішання дихання в процесі роботи призводять до збільшення миттєвих об'ємних витрат повітряних потоків на фазах дихального циклу, зокрема їх максимальної величини. Так, якщо в режимі спокою вони дорівнюють приблизно  $25 \div 30$   $\text{дм}^3/\text{хв}$ , а при звичайній ходьбі людина споживає  $50$   $\text{дм}^3/\text{хв}$  (частота дихання  $25$  циклів/хв, разовий обсяг вдихуваного повітря  $2$   $\text{дм}^3$ ), то при важких фізичних навантаженнях легенева вентиляція сягає  $157$   $\text{дм}^3/\text{хв}$  (максимальна величина) [37]. Отже, обсяг повітря, який повинен подаватись у підмасковий простір повинен становити не менше  $160$   $\text{дм}^3/\text{хв}$ . Причому необхідно врахувати опір фільтрувальних елементів, які можуть бути як протипиловими, протигазовими, так і комбінованими, аеродинамічний опір яких безпосередньо впливає на режими роботи спонукача витрати.

Для фільтрів, що серійно випускаються, в літературі відсутні дані щодо їх аеродинамічного опору на вказаних підвищених витратах, оскільки відповідно до ДСТУ EN 14378:2017 [41] та ДСТУ EN 143:2002[22] максимальний опір



диханню, тобто опір фільтра, нормується при максимальній витраті повітря 95 дм<sup>3</sup>/хв. Тому, нами були експериментально визначені значення аеродинамічного опору газопилозахисних фільтрів, що серійно випускаються, для витрат повітря 30, 95, 120 і 160 дм<sup>3</sup>/хв. Як видно з наведених в табл. 4.5 даних, при максимальній витраті повітря 160 дм<sup>3</sup>/хв максимальне значення опору не перевищує 12,4 мбар: ці дані мають важливе значення для вибору як відповідного вентилятора для спонукача витрати, так і для визначення мінімальної кількості можливих для використання відповідних фільтрів (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Аеродинамічний опір деяких серійних фільтрів різного функціонального призначення в діапазоні витрати повітря 0÷160 дм<sup>3</sup>/хв.

Витрата, дм <sup>3</sup> /хв.	Значення аеродинамічного опору, Па				
	Фільтр «РПА Р2»	Фільтр Бриз-2001" А1			
0	0	0	0	0	0
30	0,1	0,87	1,77	1,31	0,58
95	0,56	3,7	6,8	5,15	2,6
120	0,88	5,1	8,85	6,9	2,67
160	1,45	7,55	12,4	10	3,79

Отже, до вентиляторів, призначених для використання в якості спонукачів витрати (СВ) в ЗІЗОД з примусовим подаванням очищеного повітря в підмасковий простір, висуваються такі вимоги, а саме:

- забезпечення необхідної витрати;
- створення напору повітряного потоку, достатнього для забезпечення заданої витрати при прокачуванні повітря через фільтр з урахуванням зростання опору останнього при запиленні;
- енергоспоживання (враховуючи, що СВ має працювати від автономного джерела живлення).

#### **4.4 Обґрунтування вибору акумуляторів для забезпечення працездатності пристрою очищення повітря**

Електричні акумулятори – вторинні хімічні джерела електричного струму багаторазової дії, в яких завдяки оборотності внутрішніх хімічних процесів в циклі «заряд-розряд» забезпечується їх багаторазове циклічне використання, широко застосовують в якості резервних джерел енергії, а також для автономного електроживлення різноманітних електротехнічних пристроїв та систем на автомобільному, морському, повітряному і залізничному транспорті, в радіотехніці, на телефонних і електричних станціях, електромобілях, для освітлення і сигналізації на штучних супутниках Землі, космічних апаратах тощо.

Існує досить багато видів акумуляторів, заснованих на різних електрохімічних схемах, які відмінні за своїми характеристиками та оптимізовані для застосування в різноманітних умовах і з різною інтенсивністю. Найбільше розповсюдження отримали літєві акумулятори, які є легшими і компактнішими за нікель-кадмієві або нікель-металгідридні, що подекуди є дуже важливим, оскільки громіздкий важкий акумулятор може стати на заваді при роботі з акумуляторними пристроями, наприклад: мобільний електроінструмент, автономні турбоблоки примусового подавання повітря тощо.

У новітніх літєвих акумуляторах металевий літій замінений більш безпечною іонною формою, що дозволило поліпшити їх вибухо- і вогнебезпечні властивості, пов'язані з високою реакційною спроможністю літію. З цією ж метою усі без виключення акумуляторні елементи та батареї необхідно оснащувати вбудованою або зовнішньою системою контролю режимів заряду і розряду, завдяки якій різко знижується ризик появи в акумуляторі металевого літію – основного чинника вибухонебезпечності літій-іонного акумулятора (табл. 4.6). Літій-полімерний акумулятор (літій-іонний полімерний акумулятор; lithium-ion polymer battery; аббревіатури: Li-pol, Li-polymer LiPo, LIP, Li-poly) – це вдосконалена конструкція літій-іонного акумулятора з використанням твердого електроліту.

### Порівняльні характеристики акумуляторів з різними електрохімічними системами

Параметр	Елементи				
	Нікель – кадмієві	Нікель – металгідридні	Свинцево - кислотні	Літій – іонні	Літій – полімерні
1	2	3	4	5	6
Енергетична щільність W год/кг	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130
Питома енергія:					
– вагова, Вт.год / кг	30 ÷ 60	40 ÷ 80	25 ÷ 50	100 ÷ 180	
– об'ємна, Втгод /дм <sup>3</sup>	100 ÷ 170	150 ÷ 240	55 ÷ 100	250 ÷ 400	
Типова ємність (Ст), Агод	0,03 ÷ 20	0,05 ÷ 13,5	0,7 ÷ 20	0,4 ÷ 6	
Внутрішній опір (разом з внутрішніми схемами), мом	100-200 (при 6 В)	200-300 (при 6 В)	<100 (при 12 В)	150-250 при 7,2В	200-300 при 7,2В
Число циклів заряд/розряд (при зниженні ємності від початкової, %)	1500 (80)	300-500 (80)	200-300 (80)	500-1000 (80)	300-500 (80)
Час швидкого заряду, год	1	2-4	8-16	2-4	2-4
Форма кривої розряду	плоска	плоска	похила	плоска	
Стійкість до перезаряду	середня	низька	висока	дуже низька	низька
Саморозряд за місяць (при t = 20± 5 °С), %	20	30	5	10	~10
Номінальна напруга елемента, В	1,25	1,35	2,0	3,6 – 3,7	
Струм навантаження: - піковий - оптимальний	20С 1С	5С 0,5С и нижче	5С 0,2С	>2С 1С і нижче	>2С 1С і нижче
Мінімальна напруга при повному розряді, В	0,5-0,7 В	0,9	1,7 – 1,8	2,4	
ККД по ємності,%	60 ÷ 90	60 ÷ 90	80 ÷ 85	90 ÷ 99,9	
Температура експлуатації (тільки розряд), °С	(-20) ÷ (+60)	(-10) ÷ (+40)	(-15) ÷ (+50)	( -20) ÷ (+60)	

Періодичність обслуговування днів (місяців)	30 – 60	60 – 90	(3 – 6)	Не потрібне	
Особливості експлуатації	Токи розряду до 3-8 СТ. Можливий швидкий заряд. При неглибокому циклуванні необхідний періодичний дорозряд до 1 В	Токи розряду до 3-8 СТ. Можливий швидкий заряд. При частих перезарядках необхідний періодичний дорозряд до 1 В	Значне зниження ємності при збільшенні струму розряду і низькій температурі. Бажаний буферний режим роботи	Циклування з різною глибиною розряду. Заряд протягом не менше 4-5 ч. Необхідний захист від перезарядження, перерозряду та від великих струмів	
Термін зберігання, роки	5	1	1	10	
Порівняльна типова ціна акумулятора (напруга, В), у.о.	50 (7,2)	60 (7,2)	25 (6)	100 (7,2)	100 (7,2)
Ціна на цикл, у.о.	0,04	0,12	0,10	0,14	0,29
Початок комерційного використання	1950	1990	1970	1991	1999

Слід зазначити, що внаслідок незначної іонної провідності твердого електроліту при кімнатній температурі, справжні літій-полімерні акумулятори можуть працювати лише при температурах понад 40 °С, отже для них необхідні системи підігріву акумулятора. Тому переважна більшість акумуляторів з маркуванням «Li-Pol», що використовуються в мобільних телефонах, цифровій техніці, радіокерованих моделях тощо насправді є літій-іонними акумуляторами з полімерним електролітом [39].

#### **4.5. Розробка блоку контролю фільтрувального респіратора з примусовою подачею повітря**

Спеціальний блок контролю параметрів повітряного потоку побудований на основі модуля "Arduino Uno R3 Strong" (розроблений на базі мікроконтролера "ATmega328P-AU"), який виконує наступні задачі [10 - 12]:

- контроль та керування режимами роботи вентилятора;
- контроль тиску в зонах низького та високого тиску;

- контроль вмісту вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) 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 CO<sub>2</sub>, наявності пилу, температури та вологості повітря;

- контролює перепаду 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. 4.9 [40]. Основні технічні параметри мікроконтролера наведені в табл. 4.8 [41]. "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. 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. Більшість контактів є багатофункціональними, 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 окремий вивід для кожної функції. Максимальна частота роботи мікроконтролера "ATmega328P-AU" сягає 20МГц. Керамічний резонатор 16МГц (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.

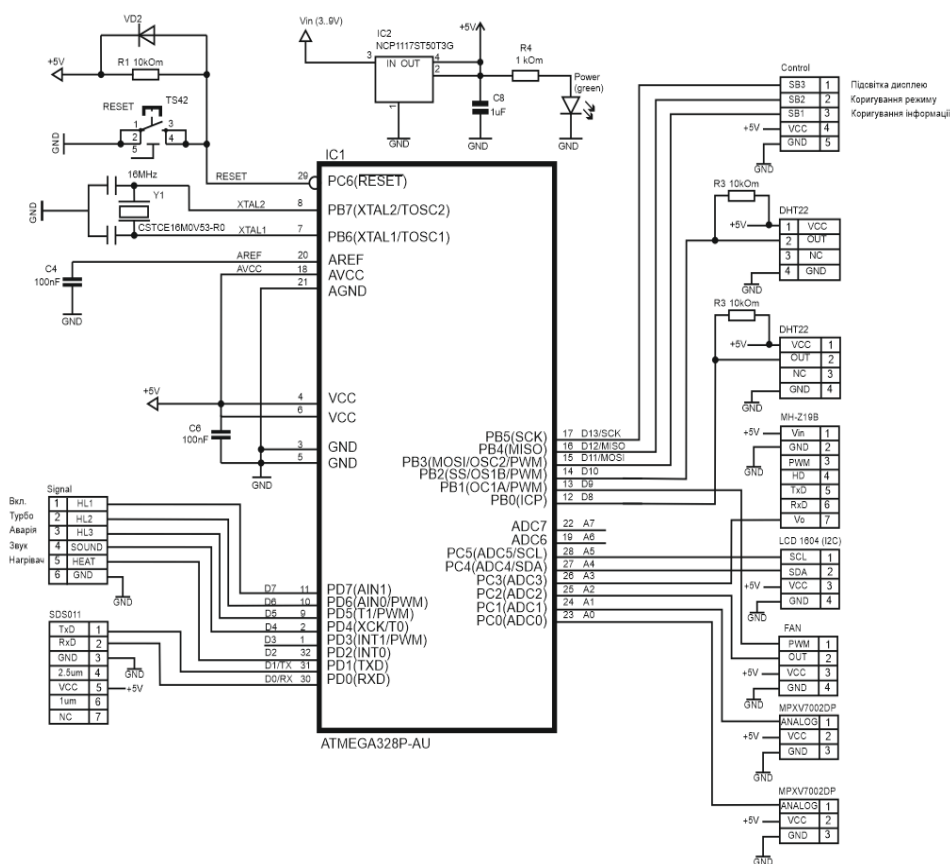


Рисунок 4.9 – Принципова електрична схема блоку контролера "Arduino Uno R3 Strong" [40]

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) [42].

Таблиця 4.7

### Основні технічні характеристики мікропроцесора "ATmega328P-AU" [45]

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 (ШІМ-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 <sup>2</sup> C	1
Цифрові входи/виходи	12
Живлення плати "Arduino Mega 2560"	1,8-5,5 В

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 модулю "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 керовані через відкритий колектор або відкритий сто - послідовна лінія даних (Serial DAta) і послідовна лінія тактування (Serial CLock).

Для забезпечення високої точності і стабільності роботи модуля в ньому застосований прецизійний здвоєний операційний підсилювач ОРА2277РА, який виконує роль потенціостата, тобто підтримує потенціал на виводі R датчика на нульовому рівні [18].

Інформація про температуру та вологість повітря в навколишньому середовищі та в гофрованому повітропроводі збирається за допомогою датчиків DHT22. Датчик DHT22 складається з двох частин - ємнісного 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 [19].

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 тип HA4010V4 [43]. Його відмінністю є наявність левітаційної магнітної системи ("Magnetic Levitation System"), 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 год. при 40 °C та 65% вологості. 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 використана для формування тахометричного сигналу. Для використання вентилятора "HA4010V4" в якості тахометра, важливо не допустити протікання струму через обмотки збудження L1 і L2, тобто перешкодити створенню магнітного поля в статорі, а, з іншого, зберегти ланцюг живлення мікросхеми D1, яке здійснюється через ті ж самі обмотки. Поставлена задача була вирішена заміною обмоток збудження статора резисторами R1 і R2. Конструкція вентилятора HA4010V4 приведена на рисунку 4.10, її доопрацювання передбачає демонтаж обмоток збудження на друкованій платі вузла керування вентилятор з подальшою установкою додаткових резисторів.

Для відображення на дисплеї комп'ютера інформації про хід процесу налагодження (вибір програмованого режиму, установка порогів сигналізації і т.п.) розроблено графічний інтерфейс користувача (сукупність уніфікованих програмних засобів, що реалізують взаємодію, а також інформаційну, електричну і конструктивну сумісність різних функціональних елементів в інформаційній системі) – в якому елементи інтерфейсу (меню, кнопки, значки, списки і т. п.), що представлені користувачеві на дисплеї, виконані у вигляді графічних зображень.

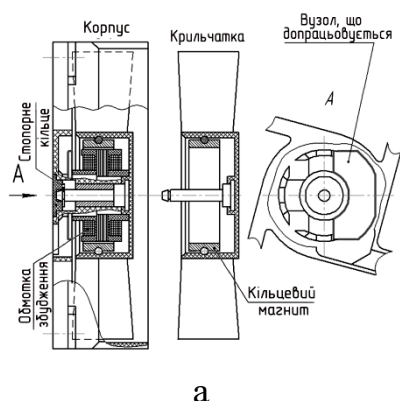


Рисунок 4.10 – Конструкція (а) та зовнішній вигляд модернізованої друкованої плати керування вентилятора HA4010V4 (б).

Зазначений графічний інтерфейс користувача за своєю суттю є діагностичною програмою, котра як при програмуванні, так і під час роботи блоку очищення повітря в режимі реального часу забезпечує контроль за:

- відправленими та прийнятими даними (контроль інтерфейсу зв'язку);
- температурними даними, що отриманих за допомогою цифрового термометра і можуть бути використані для корекції впливу температури на вимірювані параметри;
- напругою акумуляторної батареї з можливістю калібрування межі розрядження;
- концентрацією двох токсичних газів у вдихуваному повітрі за допомогою відповідних датчиків; можливістю калібрування останніх, а також програмування порогів попереджувальної сигналізації, які налаштовуються;
- заданим значенням витрати повітря здійснюється по сигналах від датчика Холла (є можливість калібрування), вмонтованого до тахометричного витратоміра;
- ліній керування (підігрів напівпровідникового датчика оксиду вуглецю (II) MQ-7, звуко- і вібросигналізація);
- станом індикаційних світло діодів, що відображають режими роботи блоку очищення повітря.

На програмному рівні також передбачено можливість калібрування показань датчиків токсичних газів, витрати повітря і рівня розрядження акумуляторної батареї зміною відповідного коефіцієнта множника. Діагностична програма написана на мові Delphi 7 і представляє собою виконавчий файл у форматі «.EXE»; інсталяція програми не потрібна.

## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4

1. Запропонована конструкція фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря в якому введений новий елемент – спеціальний 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 ЗІЗОД, за рахунок керування кількістю обертів вентилятора у заданому діапазоні з врахуванням частоти та глибини дихання користувача в залежності від фізичного навантаження.

2. Практична цінність полягає у розробці удосконаленої конструкції моторованого фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря, яка відрізняється від аналогів додатковим блоком контролю за параметрами повітряного потоку, що забезпечує контроль захисних властивостей фільтрів в результаті обробки даних системи датчиків встановлених в корпусі пристрою.

3. Обґрунтований вибір складових частин респіратору з примусовою подачею повітря: маска, яка забезпечує відповідну щільність прилягання до обличчя користувача та характеризується відповідним рівнем безпеки і комфорту; вентилятор для забезпечення подачі необхідної кількості повітря у підмасковий простір з урахуванням опору фільтрів та акумулятор для підтримки заданого терміну працездатності системи.

Основні результати дослідження опубліковані у [3, 4, 6, 12, 15, 23]

## ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ 4

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. *Ann. Occup. Hyg.* 1990. Vol. 34, N 6. P. 547–552. DOI: 10.1093/annhyg/34.6.547.
2. Wood G.O., Snyder J.L. Estimating Reusability of Organic Air-Purifying Respirator Cartridges. *J. Occup. Env. Hyg.* 2011. Vol. 8, N 10. P. 609–617. DOI: 10.1080/15459624.2011.606536.
3. Borodina N., Cheberyachko S., Cheberyachko Yu., Deryugin O., Radchuk D., Klimov D. Study of protective efficiency of respirator with forced air suppl. *J. Sci. Papers “Social development and security”*. 2020. Vol. 10, N 6. P. 192–201. DOI: 10.33445/sds.2020.10.6.18
4. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Дерюгін О.В., Славінський Д.В., Клімов В.Г. Фільтрувальний респіратор з примусовою подачею повітря. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 41. С. 155–171. DOI: 10.31498/2225-6733.41.2020.226205.
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. *J. Occup. Env. Hyg.* 2017. Vol. 15, N 3. P. 226–234. DOI: 10.1080/15459624.2017.1411598.
6. Славінський Д.В., Клімов Д.Г., Чеберячко Ю.І. Удосконалення роботи моторизованого фільтрувального ЗІЗОД. *Міжнародний форум «Безпечна, комфортна, спроможна, територіальна громада» - 2023: матеріали міжнар. конф.* 11-13 жовтня 2023 р., м. Дніпро. Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. С. 150–151.
7. Barret L.W., Rousseau A.D. Aerosol Loading Performance of Electret Filter Media. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 2010. Vol. 59, N 8. P. 532–539. DOI: 10.1080/15428119891010703.
8. Kovacs L., Zimmermann A., Brockmann G., Gühring M., Baurecht H., Papadopoulos N.A., Schwenzer-Zimmerer K., Sader R., Biemer E., Zeilhofer H.F.

Three-dimensional recording of the human face with a 3D laser scanner. *J. Plastic Reconstructive Aesthetic Surgery*. 2006. Vol. 59, N 11. P. 1193–1202. DOI: 10.1016/j.bjps.2005.10.025.

9. Стандарт МНС України СОУ МНС 75.2-00013528-002:2010. Безпека у надзвичайних ситуаціях. Фільтрувальні засоби індивідуального захисту органів дихання населення у надзвичайних ситуаціях. Класифікація й загальні технічні вимоги. МНС України. 2011. 15 с.

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. *Int. J. Ind. Ergonomics*. 2014. Vol. 44, N 1. P. 131–139. DOI: 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. *Appl. Ergonomics*. 2011. Vol. 42, N 3. P. 511–517. DOI: 10.1016/j.apergo.2010.09.009.

12. Патент UA147372 Україна, МПК А62В 23/00 А62В 18/00. Фільтрувальний дихальний апарат з примусовою подачею повітря. В.І. Голінько, С. І. Чеберячко, О. В. Дерюгін, Д. В. Славінський, Д. І. Радчук, В.Г. Клімов. НТУ «Дніпровська політехніка» № u202006362; заяв. 01.10.2020; опубл. 05.05.2021, Бюл. № 18.

13. Damiani L., Revetria R., Giribone P. Dynamic Simulation of a Pneumatic Transport Plant Powered by PV Panels and Equipped with Electro-Chemical Storage. *Electrochem*. 2023. Vol. 4, N 2. P. 239–254. DOI: 10.3390/electrochem4020016.

14. Teng G., Shi G., Zhu J., Zhao C. Research on the air supply adjustment technology of breath-following powered air-purifying respirators. *Sci. Rep.* 2023. Vol. 13. An. 12219. DOI: 10.1038/s41598-023-39411-z

15. Патент UA140878 Україна, МПК А62В 7/10. Протипиловий респіратор. Д. Г. Клімов, В.І. Голінько, С.І. Чеберячко, Ю.І. Чеберячко, О.В. Дерюгін. НТУ «Дніпровська політехніка». № u201909406; заяв. 15.08.2019; опубл. 10.03.2020, Бюл. № 5.

16. Teng G., Shi G., Zhu J., Zhao C. Research on the air supply adjustment technology of breath-following powered air-purifying respirators. *Sci. Rep.* 2023. 13, 12219. DOI: 10.1038/s41598-023-39411-z

17. Bergman M., Basu R., Lei Z., Niezgoda G., Zhuang Z. Development of a Manikin-Based Performance Evaluation Method for Loose-Fitting Powered Air-Purifying Respirators. *J. Int. Soc. Respir. Prot.* 2017. Vol. 34, N 1. P. 40–57.

18. Schumacher J., Arlidge J., Dudley D., Sicinski M., Ahmad I. The impact of respiratory protective equipment on difficult airway management: a randomised, crossover, simulation study. *Anaesthesia.* 2020. Vol. 75, N 10. P. 1301–1306. DOI: 10.1111/anae.15102

19. Vitazkova D., Foltan E., Kosnacova H., Micjan M., Donoval M., Kuzma A., Kopani M., Vavrinsky E. Advances in Respiratory Monitoring: A Comprehensive Review of Wearable and Remote Technologies. *Biosensors.* 2024. Vol. 14, N 2. An 90. DOI: 10.3390/bios14020090

20. Cheberiachko S., Cheberiachko Y., Deryugin O., Kravchenko B., Nehrii T., Nehrii S., Zolotarova O. Increasing the insulation properties of filter respirators to protect miners' respiratory organs from dust. *Rudarsko-geološko-Naftni Zbornik.* 2023. Vol. 38, N 4. P. 27–40. DOI: 10.17794/rgn.2023.4.3

21. ДСТУ EN 14378:2017. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри протигазові і фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування (EN 14387:2004 + A1:2008, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 14 с.

22. ДСТУ EN 143:2002. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Протиаерозольні фільтри. Вимоги, випробування, маркування ((EN 143:2000/AC:2005, IDT). Поправка № 1:2015. Київ: Держспоживстандарт України, 2016. 24 с.

23. Чеберячко С.І., Клімов В.Г. Проектування фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання. *Енергозбереження та промислова безпека : виклики та перспективи: наук.-техн. Зб. Матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Київ 4-5 червня 2019 р. С. 328–334.*

24. Radonovich L.J.Jr., Yanke R., Cheng J., Bender B. Diminished speech intelligibility associated with certain types of respirators worn by healthcare workers. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2010. Vol. 7, N 1. P. 63–70. DOI: 10.1080/15459620903404803

25. Khoo K.L., Leng P.H., Ibrahim I.B., Lim T.K. The changing face of healthcare worker perceptions on powered air-purifying respirators during the SARS outbreak. *Respirology.* 2005. Vol. 10, N 1. P. 107–110. DOI: 10.1111/j.1440-1843.2005.00634.x

26. Schumacher J., Arlidge J., Garnham F., Ahmad I. A randomized crossover simulation study comparing the impact of chemical, biological, radiological or nuclear substance personal protection equipment on the performance of advanced life support interventions. *Anaesthesia.* 2017. Vol. 72, N 5. P. 592–597. DOI: 10.1111/anae.13842

27. Licina A., Silvers A., Stuart R.L. Use of powered air-purifying respirator (PAPR) by healthcare workers for preventing highly infectious viral diseases-a systematic review of evidence. *Syst. Rev.* 2020. Vol. 9, N 1. An 173. DOI: 10.1186/s13643-020-01431-5

28. Schumacher J., Gray S.A., Weidelt L., Brinker A., Prior K., Stratling W.M. Comparison of powered and conventional air-purifying respirators during simulated resuscitation of casualties contaminated with hazardous substances. *Emerg. Med. J.* 2009. Vol. 26, N 7. P. 501–505. DOI: 10.1136/emj.2008.061531

29. Chughtai A.A., Seale H., Rawlinson W.D., Kunasekaran M., Macintyre C.R. Selection and use of respiratory protection by healthcare workers to protect from infectious diseases in hospital settings. *Ann. Work Expo. Health.* 2020. Vol. 64, N 4. P. 368–377. DOI: 10.1093/annweh/wxaa020

30. Chughtai A.A., Chen X., Macintyre C.R. Risk of self-contamination during doffing of personal protective equipment. *Am. J. Infect. Control.* 2018. Vol. 46, N 12. P. 1329–1334. DOI: 10.1016/j.ajic.2018.06.003

31. Candiotti K.A., Rodriguez Y., Shekhter I., Castillo-Pedraza C., Rosen L.F., Kristopher L.A., Birnbach D.J. A comparison of different types of hazardous material

respirators available to anesthesiologists. *Am. J. Disaster Med.* 2012. Vol. 7, N 4. P. 313–319. DOI: 10.5055/ajdm.2012.0104

32. Powell J.B., Kim J.H., Roberge R.J. Powered air-purifying respirator use in healthcare: effects on thermal sensations and comfort. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2017. Vol. 14, N 12. P. 947–954. DOI: 10.1080/15459624.2017.1358817

33. Bharatendu C., Ong J.J.Y., Goh Y., Tan B.Y.Q., Chan A.C.Y., Tang J.Z.Y., Leow A.S., Chin A., Sooi K.W.X., Tan Yi.L., Chiew S.H., Chin B.Z., Ng E., Foong T.W., Teoh H.L., Ong S.T., Lee P., Khoo D., Tsivgoulis G., Alexandrov A.V., Sharma V.K. Powered air purifying respirator (PAPR) restores the N95 face mask induced cerebral hemodynamic alterations among Healthcare Workers during COVID-19 Outbreak. *J. Neurol. Sci.* 2020. Vol. 417. An 117078. DOI: 10.1016/j.jns.2020.117078

34. Verbeek J.H., Rajamaki B., Ijaz S., Tikka C., Ruotsalainen J.H., Edmond M.B., Sauni R., Balci F.S.K. Personal protective equipment for preventing highly infectious diseases due to exposure to contaminated body fluids in healthcare staff. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2020. Vol. 5, N 5. An CD011621. DOI: 10.1002/14651858.CD011621.pub5

35. Watson C.M., Duval-Arnould J.M., McCrory M.C., Froz S., Connors C., Perl T.M., Hunt E.A. Simulated pediatric resuscitation use for personal protective equipment adherence measurement and training during the 2009 influenza (H1N1) pandemic. *Jt Comm. J. Qual. Patient Saf.* 2011. Vol. 37, N 11. P. 515–523. DOI: 10.1016/s1553-7250(11)37066-3

36. Jones B., Nachtsheim C.J. Split-plot designs: What, why, and how. *J. Qual. Technol.* 2009. Vol. 41, N 4. P. 340–361. DOI: 10.1080/00224065.2009.11917790

37. Harber P., Yun D., Santiago S., Bansal S., Liu Y. Respirator impact on work task performance. *J. Occup. Environ. Med.* 2011. Vol. 53, N 1. P. 22–26. DOI: 10.1097/JOM.0b013e3181febc75

39. Cohen H.J., Hecker L.H., Mattheis D.K., Johnson J.S., Biermann A.H., Foote K.L. Simulated workplace protection factor study of powered air-purifying and



supplied air respirators. *Am. Ind. Hyg. Assoc.* 2001. Vol. 62, N 5. P. 595-604. DOI: 10.1080/15298660108984658

40. UL 2034: Standard for Single and Multiple Station Carbon Monoxide Alarms. 2017.

41. Results for "PAPR". Amazon.com <https://www.amazon.com/powerd-air-purifying-respirator/s?k=PAPR>

42. Lutska N.M., Ladanyuk A.P., Savchenko T.V. Identification of the mathematical models of the technological objects for robust control systems. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. N 3. 163–172. DOI: 10.15588/1607-3274-2019-3-18

## РОЗДІЛ 5

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕСПІРАТОРА З ПРИМУСОВОЮ ПОДАЧЕЮ ПОВІТРЯ

#### 5.1 Лабораторні випробування працездатності блока керування фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря

Процедуру тестування макету блока керування фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря виконували у лабораторних умовах за допомогою спеціального стенду (див. рис. 5.1).

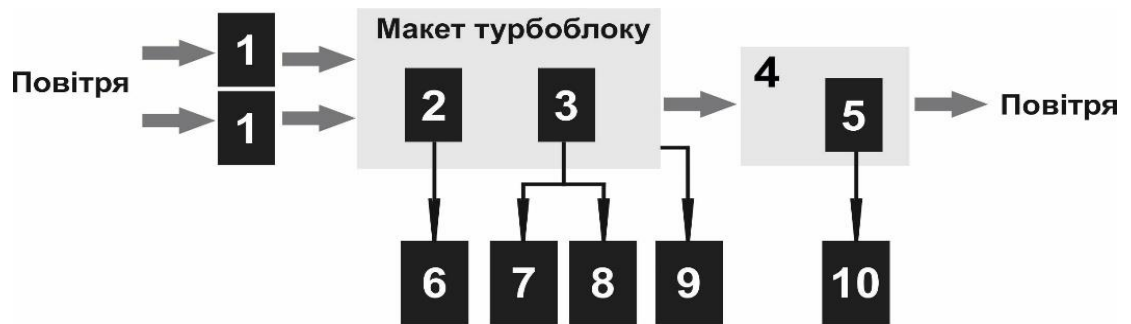


Рисунок 5.1 – Блок-схема стенду для випробувань макету блока керування: 1 - імітатори опору повітряного потоку фільтрів; 2 - вентилятор; 3 - тахометричний датчик витрати повітря; 4 - гнучкий трубопровід для вимірювання швидкості потоку повітря; 5 - датчик анемометра; 6 - блок живлення; 7 - осцилограф; 8 - частотомір; 9 - диференціальний манометр; 10 - блок керування анемометром "DT-8880"

Схема випробувального стенду включає в себе послідовне з'єднання фільтрів, пристрою для забезпечення витрати повітря та датчика тиску, який розташований у гофрованому трубопроводі, де також розміщений анемометр. Контроль за частотою обертання таходатчика та формою вихідних сигналів здійснювався за допомогою частотоміра "ЧЗ-57" і осцилографа "С1-94" відповідно. Швидкість повітряного потоку і перепад тиску вимірювались за допомогою анемометра "DT-8880" (діапазон вимірів -  $0,1 \div 25,0$  м/с; роздільна здатність -  $0,01$  м/с; відносна похибка  $\pm 5\%$ ) і електронного дифманометра "Testo 512". Контроль температури повітря та атмосферного тиску

здійснювався за допомогою барометра-анероїда "БАММ-1" (відносна похибка  $\pm 0,8$  мм рт. ст.) та термометра "ТЛ-02" (відносна похибка  $\pm 0,5$  °С). Для імітації зростання опору повітряному потоку через фільтри в діапазоні 4-10 мБар використовувався спеціальний регулюючий конусоподібний шибер, який приєднувався до одного з вхідних патрубків у корпусі стенду. При цьому враховувалося, що опір, зазвичай, не перевищує 9-10 мБар.

Результати лабораторних тестів прототипу блока керування з вентилятором "тип 1", які представлені у табл. 5.1 та на рис. 5.2, демонструють, що потрібний обсяг повітря (не менше 150-160  $\text{дм}^3/\text{хв}$ ) забезпечується на повному режимі, а залежність частоти обертання крила вентилятора має лінійний характер. Однак при зміні опору, який створюють фільтри, ця залежність стає нелінійною (рис. 5.3), і коли опір повітряному потоку досягає 7-7,5 мБар, об'єм повітря знижується до менше ніж 150  $\text{дм}^3/\text{хв}$ , що є неприйнятним і вимагає включення додаткового каналу для зниження опору фільтрів.

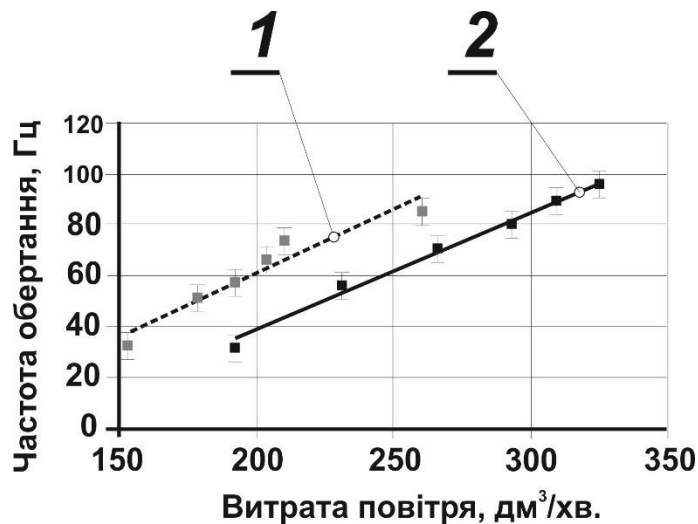


Рисунок 5.2 – Графіки залежностей витрати повітря від частоти обертання вентилятора "тип 1" немодернізованого (1) і модернізованого (2) з заміною обмоток збудження статора резисторами

Починаючи з 90-х років минулого сторіччя, розробка респіраторів і противогазів з механічним нагнітанням повітря в підмасковий або підшоломний простір через фільтрувальні елементи (PAPR) стала активною. Поява таких моторових повітрянагнітальних фільтрувальних пристроїв

(МПФП) [4] була суттєвою, оскільки за довгий період історії респіраторів не вдалося розробити універсальну маску зі смугою обтюрації, яка б на 100% підходила до обличчя будь-якого користувача [5]. Використання фільтрувальних респіраторів з примусовою подачею повітря, крім уникнення підсмоктувань за смугою обтюрації та полегшення дихання порівняно з традиційними фільтрувальними ЗІЗОД, також дозволяє створити комплексний ЗІЗ із захистом зору, слуху і голови користувача.

Таблиця 5.2

### Результати випробувань макета з вентилятором "HA4010V4"

Напруга живлення вентилятора, В	Частота обертання вентилятора, Гц	Швидкість повітряного потоку м/с	Об'ємна витрата повітря дм <sup>3</sup> /хв	Перепад тиску на вході турбоблоку, мБар
вентилятор "тип 1" (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 "тип 2" (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

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 [6, 7], що рухова активність людини та інтенсивність дихання взаємопов'язані: поглиблення і почастішання 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 дм<sup>3</sup>/хв, а при звичайній ходьбі людина споживає 50 дм<sup>3</sup>/хв (частота дихання 25 циклів/хв, разовий

обсяг вдихуваного повітря 2 дм<sup>3</sup>), то при важких фізичних навантаженнях легенева вентиляція сягає 157 дм<sup>3</sup>/хв (максимальна величина) [8].

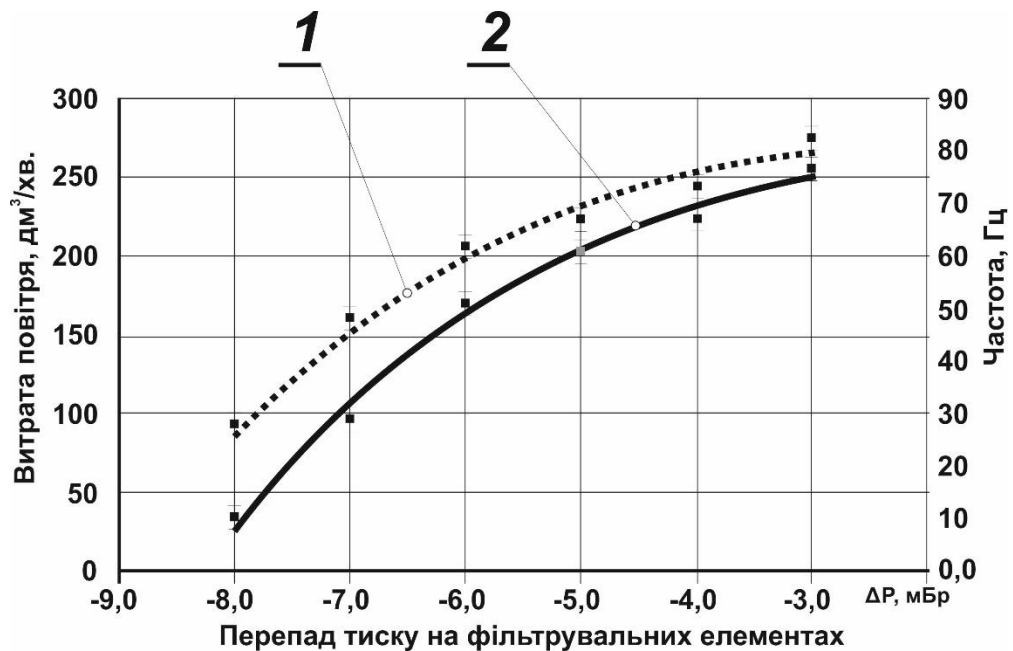


Рисунок 5.3 – Графіки залежностей витрати повітря і частоти обертання вентилятора "тип. 1" немодернізованого (1) і тип 2 модернізованого (2) заміною обмоток збудження статора резисторами від зміни величини опору фільтрів

Отже, обсяг повітря, що прокачується через фільтр ЗІЗОД за допомогою МПФП повинен становити не менше 60 дм<sup>3</sup>/хв. Тому виникла необхідність саме у забезпеченні моніторингу за витратою повітря саме за рахунок запровадження блока керування з наявністю багатофункціональної системи датчиків, встановлених в корпусі пристрою. Блок керування є нескладним у виготовленні, має невисоку вартість, забезпечує повторюваність операцій і задані показники працездатності з вентилятором "тип 1". Разом з тим існує необхідність подальших досліджень оскільки на величину витрати повітря значно впливають різноманітні домішки у повітряному потоці, які призводить до підвищеного зносу пар тертя і тим самим погіршують працездатність. Однак в даному випадку, враховуючи той факт, що в блоці керування вентилятор розташовується після досить ефективних газопилозахисних фільтрів, його запиленість можна вважати незначною [9]. В якості фільтрувальних елементів можна застосовувати

стандартні протипилові, протигазові або комбіновані фільтри, їх обґрунтування 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 масогабаритні характеристики конструкції в цілому і оптимізувати дихальний режим в новому поколінні ЗІЗОД. В той же час більшість перетворювачів витрати 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 витрати в залежності від радіуса коліна і відстані між ним і перетворювачем.

## **5.2 Експериментальні дослідження впливу розмірів фільтрувальної коробки на термін захисної дії протигазових фільтрів**

Для визначення терміну захисної дії за проникненням шкідливих парів можна скористатися рівнянням запропонованим Дубиніним і вдосконаленим Вілером-Джонасом [10]:

$$t_b = \frac{W_e \rho_v}{C_0} \left[ \frac{H_f}{V_l} - \frac{1}{k_v} \ln \left( \frac{C_0 - C}{C} \right) \right], \quad (5.1)$$

де  $t_b$  – термін захисної дії, хв;  $W_e$  – сорбційна ємність, г/г вугілля;  $C_0$  – концентрація шкідливої речовини в повітрі, г/см<sup>3</sup>;  $Q$  – об'ємна витрата повітря, см<sup>3</sup>/с;  $W$  – маса адсорбенту, г;  $\rho_v$  – насипна густина сорбенту, г/см<sup>3</sup>;  $k_v$  коефіцієнт швидкості адсорбції,  $C$  – концентрація, яка зафіксована після фільтра, г/см<sup>3</sup>;  $H_f$  – товщина фільтру, см;  $V_l$  – швидкість потоку повітря, см/с.

Для розрахунку сорбційної ємності заданої органічної сполуки при уловлюванні звичайним механізмом адсорбції можна скористатися рівнянням Радушкевича [11]:

$$W_e = W_0 d_l \exp \left[ - \left( \frac{RT}{\beta E_0} \right)^2 \left( \ln \left( \frac{p_s}{p} \right) \right)^2 \right], \quad (5.2)$$

де  $W_0$  – об'єм мікропор активованого вугілля, м<sup>3</sup>/г;  $E_0$  – базова енергія адсорбції, кДж/моль;  $d_l$  – густина адсорбенту, г/м<sup>3</sup>;  $p_s$  – тиск парів при температурі  $T$ , К, які знаходяться в неадсорбованому стані, Па;  $R$  – універсальна газова стала (8,314·10<sup>-3</sup> кДж/(моль·К));  $\beta$  – коефіцієнт афінності.

Відзначимо, що для отримання сорбційної ємності  $W_e$  (г/г вугілля) в кожному окремому поєднанні газ/вугілля необхідно проводити експериментальні вимірювання у відповідних умовах (концентрація, витрата повітря і вологість). При цьому коефіцієнт швидкості адсорбції органічних сполуки при їх уловлюванні активованим вугіллям  $k_v$  досить добре визначений в роботах Лодеріка. Він залежить від лінійної швидкості фільтрації  $V_l$  (см/с) і діаметра гранул активованого вугілля  $d_p$  (см) [12]:

$$k_v = 48\beta^{0,33} V_l^{0,75} d_p^{-1,5}.$$

Коефіцієнт афінності (споріднення) визначається за допомогою молярної поляризуємості  $P_e$  (см<sup>3</sup>/моль) [13]:

$$\beta = 0,086 P_e^{0,75}.$$

З огляду на те, що витрату повітря можна виразити через швидкість фільтрації і площу поперечного перерізу, а час проникнення залежить від товщини сорбенту, рівняння 5.1 можна перетворити на вираз:

$$t_{1\%} = C_0^{-1} V_l^{-1} W_e \rho_v \left( H_f - \frac{V_l}{k_v} \ln \left( \frac{C_0 - C}{C} \right) \right), \quad (5.3)$$

Вираз 5.3 пов'язує ефективність адсорбції з розмірами фільтра, швидкістю фільтрації і концентрацією шкідливої речовини. Задаючи вказані

показники можна підбирати параметри конструкції фільтра з мінімальним опором диханню і максимальним терміном захисної дії.

Зазвичай в технічному завданні на розробку засобів індивідуального захисту органів дихання вказується забрудненість і витрата повітря (хімічний склад, концентрація) і мінімальний термін захисної дії. Підставивши ці параметри у рівняння 5.2 та 5.3, отримаємо рівняння з двома невідомими - поперечним перерізом (так як витрата залежить від лінійної швидкості і від площі), і товщиною фільтра. Це дозволяє обчислити необхідну товщину фільтра і обсяг сорбенту – для різних поперечних перерізів. Аналіз наведеної формули говорить про безліч різних варіантів конструкції фільтра (площа, товщина, обсяг) з однаковими сорбційними властивостями. Тому для конкретного засобу індивідуального захисту з примусовою подачею повітря був проведений експеримент для визначення раціональних параметрів конструкції фільтрувальної коробки.

На першому етапі роботи проводилося визначення перепаду тиску при русі повітря через фільтруючі коробки, заповнені сорбентом. Для цього використовували п'ять однотипних циліндричних зразків (рис. 5.4, з різними розмірами (діаметр коробки  $D_f$ , діаметр кришки  $D_k$ , товщина фільтра  $H_f$  і товщина коробки з кришкою  $H_k$ ) для забезпечення однакового обсягу активованого вугілля (табл. 5.3).

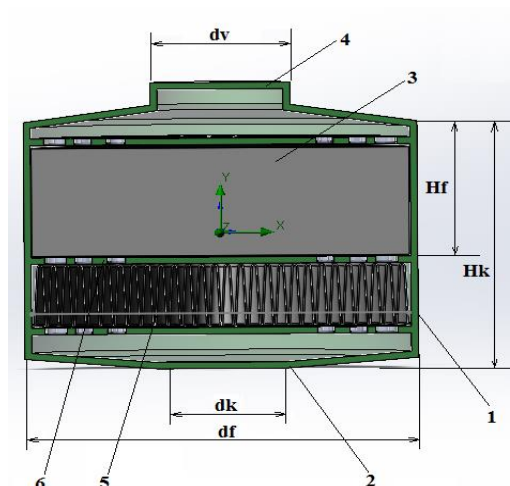


Рисунок 5.4 – Вид конструкції фільтрувальної коробки з газовим фільтром: 1 - корпус фільтра; 2 - кришка коробки з входним отвором; 3 - газовий фільтр; 4 - отвір клапана вдиху; 5 - протипиловий фільтр; 6 - решітка



Діаметри коробок варіювалися від 7 до 15 см, а товщини від 1,5 до 4 см. Діаметр вихідного отвору  $d_v$  для всіх коробок становив 3 см. Його величина залежить від розміру клапана вдиху (діаметр знаходиться в діапазоні від 2,7 до 3,2 см). Фільтри виготовляли з активованого вугілля марки СКТ-6А з густиною 356 г/дм<sup>3</sup> і розміром частинок 1 ... 1,5 мм.

Таблиця 5.3

**Розміри фільтрів, які використовувалися для аналізу гідравлічного опору**

Газовий фільтр	Товщина, Hf см	Діаметр Df, см	Площа, см <sup>2</sup>	Об'єм, см <sup>3</sup>
1	1,1	14,5	123	134
2	1,6	10,1	80	128
3	2,5	8,0	50	125
4	2,8	7,5	44	123
5	3,2	7	39	123

Вимірювання перепаду тиску проводили відповідно до ДСТУ EN 13274-3: 2005 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Методи випробування. Частина 3. Визначення опору дихання». Суть методу полягає у вимірюванні різниці статичних тисків до і після фільтрувальної коробки, при заданій витраті повітря. Коробка при цьому розміщується в спеціальному затиску, що виключає підсос повітря повз фільтра. Протягування повітря здійснювалося електроаспіратором з ресивером для стабілізації потоку. Витрата повітря контролювався за допомогою ротаметра. Дослідження проводили при зміні витрати повітря від 20 до 160 дм<sup>3</sup>/хв.

На другому етапі експериментальних досліджень проводили оцінку захисної дії виготовлених фільтрів з використанням відповідної маски, яка розташовувалась на манекені голови. Манекен голови з маскою розташовували в спеціальній камері, яку заповнювали газоповітряною сумішшю (ГПС), що містить контрольне токсичну речовину - циклогексан. ГПС отримували за допомогою спеціальної динамічної установки, в якій у стабільний потік газу-носія (очищеного від сторонніх домішок і осушеного повітря) з постійною витратою подавався з балона циклогексан.

Для отримання стабільного потоку газу-носія використовували блок підготовки, що містить безмасляний компресор, ресивер, забезпечений

зразковим манометром і регулятором тиску, систему фільтр-поглинаючих пристроїв для очищення повітря від пилу, парів води, домішок основних і кислих газів. Сталість витрати газу-носія забезпечувала за рахунок підтримки постійного тиску газу в ресивері.

Приготовану ГВС, що містить контрольне токсичну речовину (КТВ), простягали електроаспіратором з постійною витратою через систему фільтрів, коробку з газовим фільтром і визначали час, через який токсична речовина виявляється засобами індикації в підмасковому просторі. Для виявлення циклогексану в ГВП в підмасковому просторі використовувався малоінерційний електрохімічний датчик з постійною часу менше 2 с, встановлений безпосередньо в підмасковому просторі. Статистичну обробку результатів вимірювань проводили, як рекомендовано в [14].

Перший етап роботи був присвячений оцінці впливу розмірів фільтра на його опір повітряному потоку. Отримані результати були очікуваними (рис. 5.5). Видно, що зменшення товщини і збільшення діаметра фільтра дозволяє істотно зменшити перепад тиску при збереженні обсягу сорбенту постійним (наприклад - у фільтрів 1, 3 та 5).

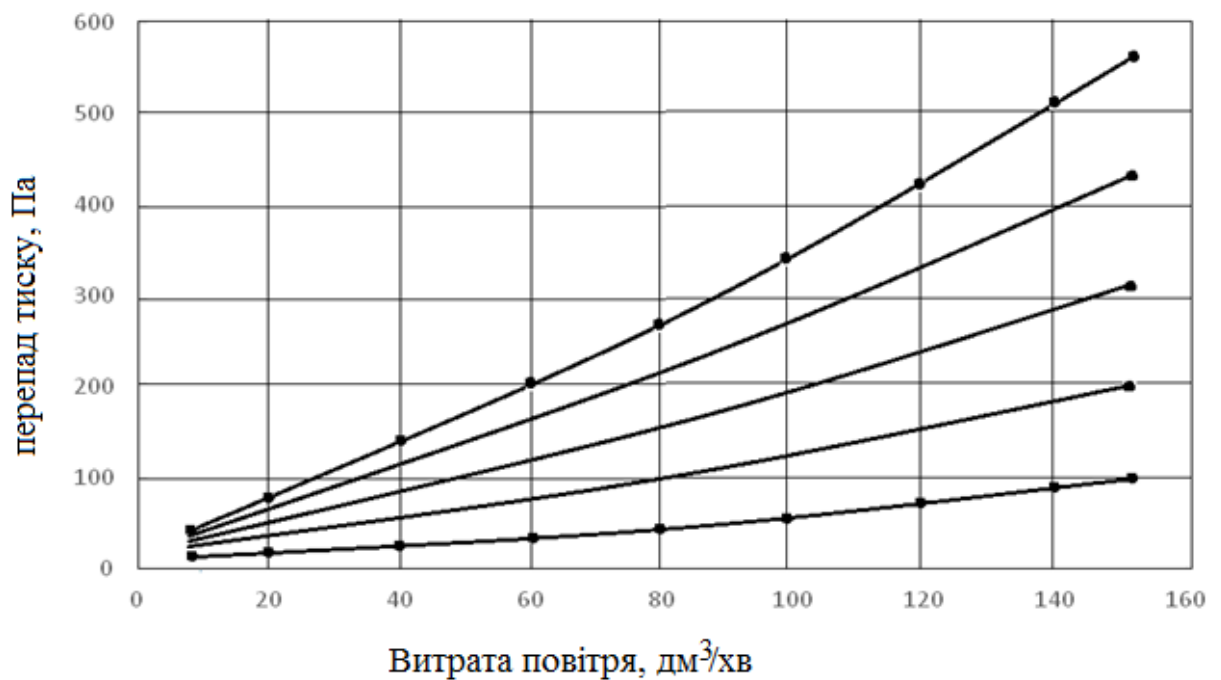


Рисунок 5.5 – Залежність опору повітряному потоку від витрати повітря крізь фільтр

На другому етапі визначали наскільки зміна параметрів фільтрів вплине на час захисної дії. Для прикладу візьмемо речовину циклогексан (молекулярна маса 86,18 г/моль; поляризованість 51,5 см<sup>3</sup>/моль) (табл. 5.4). Для обчислення сорбційної ємності використовували формулу 5.2, і отримали, що  $W_e$  для циклогексану становить 0.00972 г/г. Тоді при заданій концентрації, діаметрі фільтра його товщині і витраті повітря можна обчислити час захисної дії. Результати наведені в табл. 5.5. Для підтвердження отриманих результатів був проведений експеримент по визначенню часу захисної дії, який показав, що експериментальні значення значно менше розрахункових (від 50% до 80%).

Таблиця 5.4

**Значення параметрів, які використовуються для розрахунку**

Позначення	Числове значення	Одиниці вимірювання
Густина, $\rho_b$	0,6548	г/см <sup>3</sup>
Концентрація, $C$	17,5	мг/дм <sup>3</sup> при атмосферному тиску(101,3 гПа)
Витрата повітря, $Q$	30	л/хв
$K_v$	3447	1/хв

Таблиця 5.5

**Результати обчислень і експериментальних досліджень часу захисної дії фільтруючих коробок для різних конструкцій фільтрів**

Концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	Діаметр, см	Товщина, см	Витрата, л/хв	Термін захисної дії фільтрувальних коробок $t_{1\%}$ , хв	
				Розраховане	Експериментальне
17,5	14,5	0,83	30	84	37
	10,1	1,70		84	46
	8,0	2,72		84	55
	7,5	3,10		84	61
	7	3,56		84	72

Отриманий результат (табл. 5.5) можна пояснити нерівномірним розподілом швидкості повітряного потоку по площі фільтра через зсув вихідного отвору щодо центру фільтрувальної коробки. При теоретичному розрахунку передбачався рівномірний процес фільтрації по всій площі фільтра. В експерименті, у частині фільтра, яка розташована навпроти

вихідного отвору, швидкість повітряного потоку була істотно більше, ніж на решті його частини. Це сприяло більш швидкому насиченню гранул адсорбенту газом в цій області і настання фази проникнення. При цьому інша частина фільтра свій ресурс до кінця ще не відпрацювала.

Такий стан фільтра в процесі насичення пояснюється тим, що для досягнення зміщеного відносно центру вихідного отвору коробки, периферійні цівки повітря повинні були подолати аеродинамічний опір зазору між фільтром і корпусом коробки. Крім того, стикаючись із задньою стінкою коробки, периферійні цівки змінюють напрямок руху, а в міру переміщення цих цівок по зазору відбувається змішування цівок повітря, які мають різну швидкість і різний напрямок руху. Все це призводить до втрати тиску на місцевих опорах і в зазорі між фільтром і корпусом коробки, що збільшує опір руху і, відповідно, зменшує швидкість руху. Чим далі периферійні цівки знаходяться від вихідного отвору, тим більше опір їм необхідно подолати. Моделювання потоків повітря за допомогою програми SolidWorks, підтверджують наше припущення (рис. 5.6, рис. 5.7).

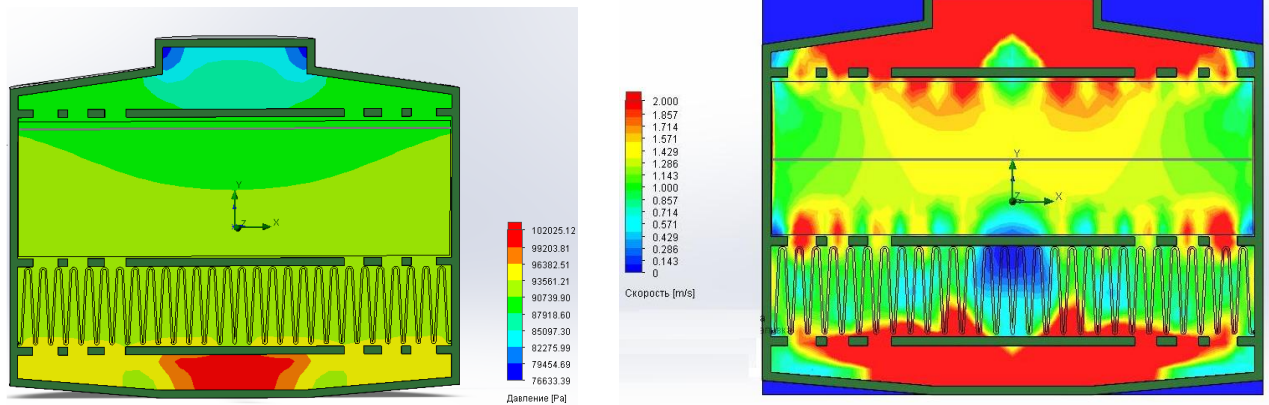


Рисунок 5.6 – Моделювання руху повітря через газовий фільтр

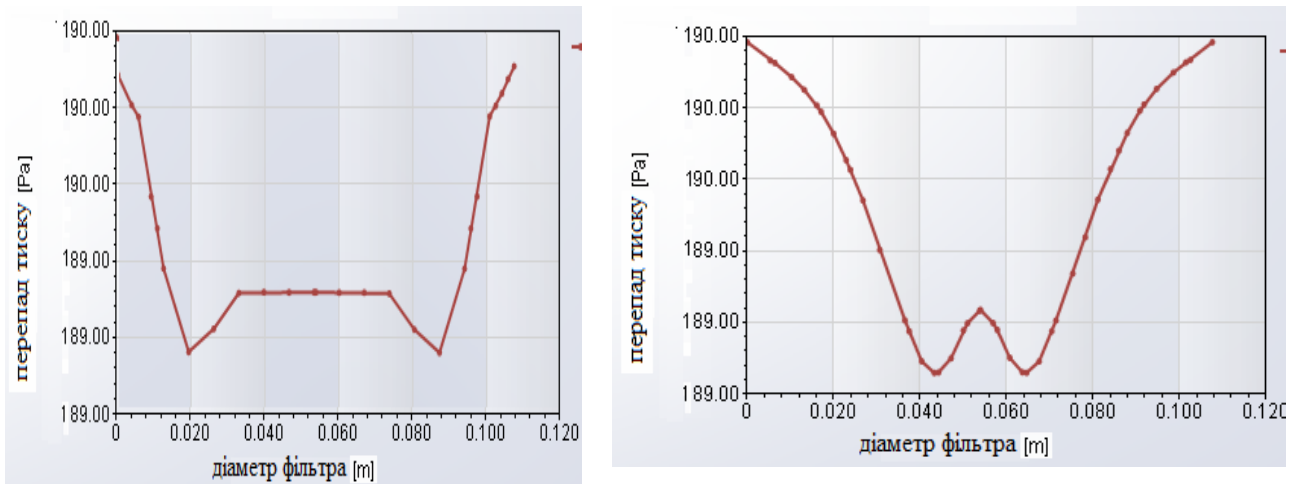


Рисунок 5.7 – Зміна перепаду тиску на ділянках фільтра виходячи з розмірів вхідного отвору

Таким чином, модель підтверджує, що на ділянці фільтра розташованій навпроти вихідного отвору фільтруючий шар швидше насичується шкідливими парами, що призводить до прискорення появи небезпечної проникненої концентрації за фільтром.

Іншою причиною зменшення часу захисної дії фільтрів з діаметром 10-15 см може бути вплив нерівномірної щільності заповнення фільтра сорбентом і наявність флуктуацій товщини і пористості фільтра, які можуть бути обумовлені як недоліками технології виготовлення фільтрів, так і утворюватися в процесі транспортування і установки фільтрів в фільтрувальну коробку. Очевидно, що вплив цих процесів на час захисної дії фільтрів малого діаметра і великої товщини буде істотно менший.

Відзначимо, що зазвичай при лабораторних випробуваннях фільтрів використовується установка, в якій фільтр кріпиться в спеціальній камері, при цьому вихідний отвір необмежено і вся поверхня фільтра працює рівномірно. У той же час при установці в респіратор, фільтр кріпиться за допомогою спеціальної манжети, а вихідний отвір обмежується розміром клапана вдиху.

У більшості респіраторів його діаметр становить близько 27 - 32 мм. В роботі [13] вказується, що такий розмір клапанів вдиху сприяє мінімальному приросту опору диханню при швидкому і своєчасному його

“спрацьовуванню” при видиху для захисту фільтра. Однак, з появою нових більш еластичних матеріалів, з'являється можливість забезпечити надійну роботу клапана при великих його розмірах. Крім того, для зменшення нерівномірності розподілу середньої швидкості фільтрації по площі фільтра доцільно збільшити зазор між фільтром і корпусом фільтрувальної коробки або надати внутрішній стінці коробки конусоподібну форму [12]. Збільшення розмірів клапана і, відповідно, діаметра вхідного отвору, а також вдосконалення конструкції фільтрує коробки з газовим фільтром, буде сприяти поліпшенню розподілу швидкості повітряного потоку по площі фільтра, що в свою чергу дозволить забезпечити необхідний час захисної дії фільтрувальних коробок при зниженому опорі диханню.

### **5.3 Лабораторні дослідження захисної ефективності фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря**

Запропонований пристрій з примусовою подачею повітря важливо перевірити на ефективність за коефіцієнтом захисту та забезпеченням необхідної витрати повітря у підмасковому просторі від опору фільтрів пристрою очищення. Важливо, щоб об'єм повітря у підмасковому просторі був не менший -  $120 \text{ дм}^3/\text{хв}$  з можливістю збільшення до  $170 \text{ дм}^3/\text{хв}$  при опорі фільтрів до 15 мбар. Така величина дозволить підтримувати позитивний тиск в підмасковому просторі маски, і тим самим, ліквідувати підсмоктування через нещільності за смугою обтюрації. Крім того, одним з важливих показників є коефіцієнт захисту, значення якого повинно бути не менше 99,9.

В основу досліджень була покладена процедура експериментальних випробувань, що включала визначення коефіцієнтів проникнення і захисту фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря з тест-аерозолем - хлоридом натрію на добровольцях-випробувачах, визначення витрати повітря, що подається блоком очищення у підмасковий простір маски та

створюваний пристроєм позитивний тиск всередині шолома або капюшона відповідно до вимог стандарту ДСТУ EN 12941:2004.

Перевірку захисної ефективності фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря проводили на спеціальному стенді (рис. 5.8), який відповідає вимогам стандарту ДСТУ EN 13274-1:2005. Він складається з ультразвукового генератора тест-аерозолю, випробувальної камери, де знаходились випробувач, спектрофотометру "Selmi C-115E" (виробник "SELMI" LLC: Суми, Україна) з вбудованим аспіратором для відбору проб. В якості тест-аерозолю використовувався 0,1% розчин хлориду натрію, якій підсушувався і подався у випробувальну камеру з витратою повітря 100 дм<sup>3</sup>/хв.

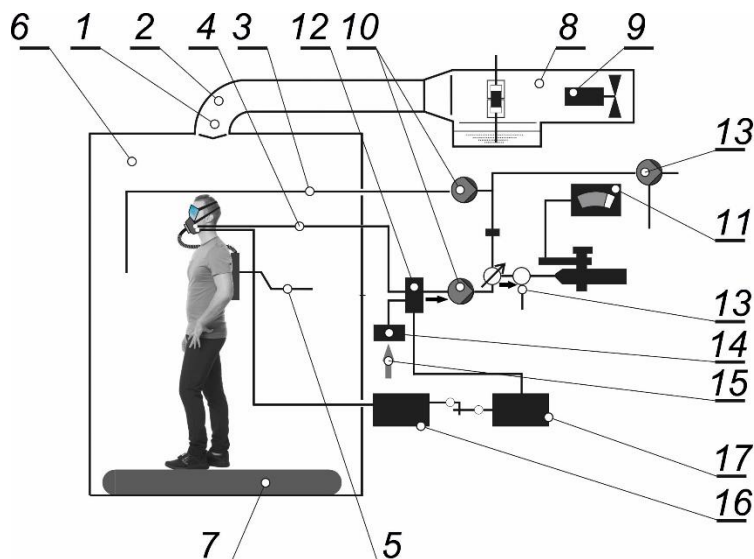


Рисунок 5.8 – Випробувальна установка для визначення коефіцієнта проникнення хлориду натрію: 1 - дефлектор; 2 - трубопровід; 3 - лінія відбору проби атмосфери в камері; 4 - відбір проби з подмасочного простору; 5 - подача дихального повітря; 6 - випробувальна камера; 7 - тредбан; 8 - розпилювач; 9 - вентилятор; 10 - насос; 11 - фотометр; 12 - клапан перемикавання; 13 - додаткова подача повітря; 14 - фільтр; 15 - чисте повітря; 16 - манометр; 17 - система поділу фаз вдиху-видиху

Генератор тест-аерозолю забезпечував розподіл аерозольних частинок у межах від 0,02 до 2 мкм із середньомасовим діаметром 0,6 мкм. Рівномірність його розподілу у випробувальній камері забезпечувалась системами вентиляції та подачі тест-аерозолю. При цьому концентрація в

зоні дихання випробувача під час досліджень постійно контролювалась і складала  $8 \pm 4$  мг/м<sup>3</sup>. Для виміру концентрації під маскою респіратора використовувався спеціальний пробовідбірник, який засмоктував повітря між носом і губами. Проби аерозольної суміші у камері та у підмасковому просторі респіратору відбирали одночасно. При цьому забірник проб у камері та у підмасковому просторі знаходився на одному рівні (рис. 5.9).

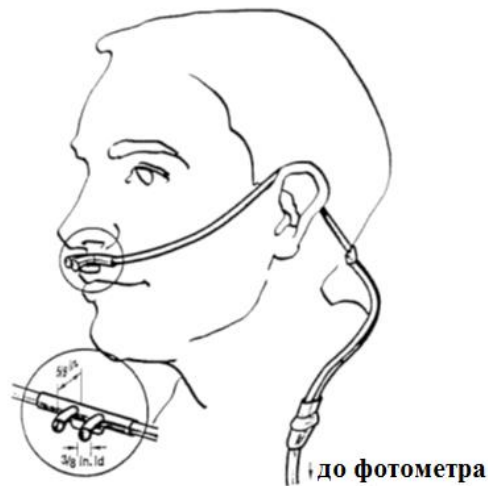


Рисунок 5.9 – Схема пробовідбірного зонду

Швидкість відсмоктування повітря і в першому і в другому випадках складала 3 дм<sup>3</sup>/хв. При проведенні випробувань дослідний зразок оснащувався фільтрами марки FRPA P2 «particle filter», другого класу захисту, які відповідали вимогам стандарту [13], тобто їх коефіцієнт проникнення тест-аерозолі складав не більше 6 %.

В результаті експериментального дослідження визначався загальний коефіцієнт захисту респіратору з примусовою подачею повітря за формулою [14]:

$$PF = \frac{100}{K_p}, \quad (5.4)$$

де  $K_p$  – коефіцієнт проникнення тест-аерозолі, який відображає проникнення аерозолі через фільтр і ущільнювальну смугу між обличчям і півмаскою.



У випробуванні приймали участь шість добровольців (обличчя - європеїдної раси): дві жінки та чотири чоловіка, віком від 23 до 44 років у відповідності до параметричних розмірів обличчя (табл. 5.6), яких попередньо проінструктували щодо правильного використання фільтрувального ЗІЗОД та провели відповідну перевірку правильності його прилягання до обличчя. Якщо в процесі випробування виникала необхідність відрегулювати кріплення півмаски, то відбувалась зупинка фіксування величини підмаскової концентрації тест-аерозолі, яка поновлювалась після відновлення вихідних параметрів системи.

Випробувачі під час дослідження виконували послідовно вправи передбачені стандартом [15]: звичайне дихання; глибоке дихання; рухи голови зі сторони в сторону; рухи голови вгору і вниз; розмова вголос; ходьба на біговій доріжці зі швидкістю 6 км/год. Крім того, додатково для моделювання виробничих операцій відтворювалось присідання, нахили та повороти тулуба, імітувалась робота з розбирання завалів (оскільки даний пристрій може застосовуватись при ліквідації аварійних ситуацій та надання допомоги потерпілим). Кожна вправа виконувалась протягом 2 хв. У кожного випробувача робили одразу три заміри за кожною вправою. Результат осереднювався і заносився у спеціальну табл. 5.6 у програму «AAS-2009», в якій передбачено визначення статистичних даних у відповідності до вимог стандарту [16].

Таблиця 5.6

#### Розміри обличчя учасників експерименту

Висота обличчя мм	Ширина обличчя, мм		
	129-139 (1 зона)	140-145 (2 зона)	146-155 (3 зона)
136-126	1 випробувач	1 випробувач	-
125-116	1 випробувач	1 випробувач	1 випробувач
115-105	-		1 випробувач

Перед початком дослідження випробувачі проходили навчання з підготовки пристрою до роботи та робота в автоматичному («норма») і

«турбо» режимах. Перед випробуванням усі акумуляторні батареї заряджали до 100% штатної ємності, контролюючи напругу та внутрішній опір на кожному елементі батареї окремо. Надалі акумуляторну батарею підключали до блока очищення зі значенням величини сталого струму розряду 1,7 А. Під час випробувань індикацію рівнів напруги здійснювали за індикаторами встановленими на інформаційній панелі.

Наступним показником, який підлягав перевірці була витрата очищеного повітря, що подається до підмаскового простору фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря. Для цього на манекен голови одягалась захисна маска. Повітряний потік, який подавався у підмасковий простір через трубку, що вставлена в манекені, потрапляв до витратоміру РМ-0,4-1,6, яким визначалась його кількість, при цьому за допомогою електронного мікроманометра («Testo 512») контролювався рівень перепаду тиску (рис. 5.10).

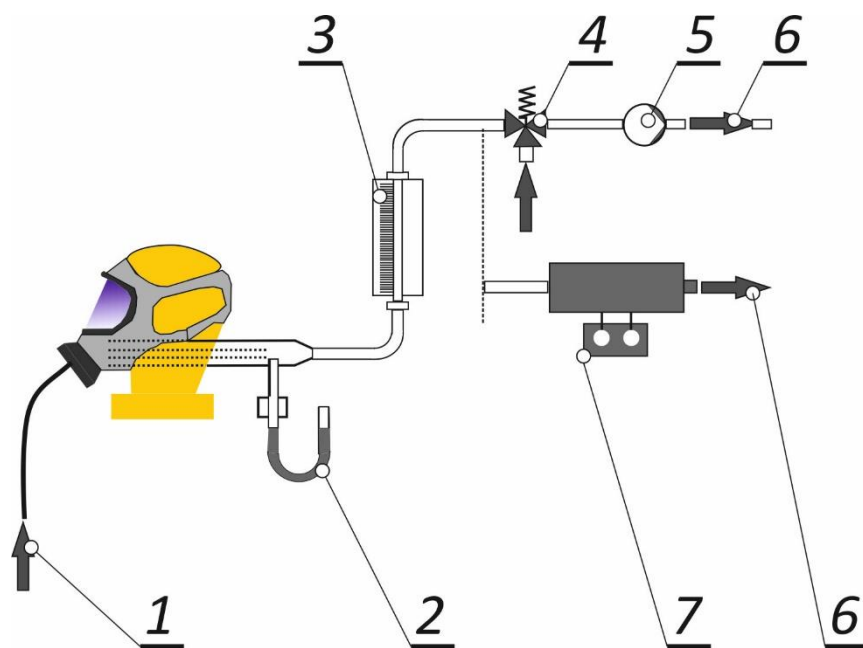


Рисунок 5.10 – Випробувальна установка для визначення витрати повітряного потоку: 1 - впускний канал; 2 - мікроманометр; 3 - витратомір; 4 - регулятор; 5 - всмоктуючий пристрій; 6 - вихідний отвір; 7 - регулятор потужності

Нестабільність підтримання заданого рівня витрати повітря, яка розраховувалась на основі експериментальних даних за формулою:

$$\delta_Q = \frac{(Q_{\max} - Q_{\min})}{\bar{Q}} \cdot 100, \% \quad (5.5)$$

де  $Q_{\max}$ ,  $Q_{\min}$ ,  $\bar{Q}_i$  – максимальне, мінімальне і середнє арифметичне значення з числа експериментально визначених даних;  $\delta_Q$  – нестабільність витрати повітря за час безперервної роботи пристрою.

Результати проведених експериментальних досліджень осереднених коефіцієнтів захисту випробувальних зразків фільтрувального ЗІОД з примусовою подачею повітря за тест-аерозолем хлориду натрію на добровольцях наведені в табл. 5.7. Випробування проводились на двох режимах «Норма» і «Турбо», основною відмінністю, яких є витрата повітря, що подається до підмаскового простору фільтрувального пристрою.

Таблиця 5.7

**Визначення коефіцієнту захисту фільтрувального ЗІОД з примусовою подачею повітря на режимах «Норма» і «Турбо» на добровольцях**

Випробувач	Режим роботи очищувача повітря	Витрата повітря дм <sup>3</sup> /хв.	Опір фільтрів, мбар	Коефіцієнт захисту
1	«Норма»	102	3,3	99,95
	«Турбо»	143	5,6	99,97
2	«Норма»	108	3,5	99,98
	«Турбо»	146	5,7	99,93
3	«Норма»	101	3,4	99,95
	«Турбо»	155	6,1	99,96
4	«Норма»	107	3,4	99,99
	«Турбо»	145	5,7	99,97
5	«Норма»	97	3,1	99,93
	«Турбо»	143	5,4	99,95
6	«Норма»	109	3,8	99,97
	«Турбо»	146	5,6	99,96

Наступним етапом була перевірка максимальної витрати повітря, яку може розвинути фільтрувальний респіратор з примусовою подачею повітря зі спорядженими протигазовими фільтрами з опором повітряному потоку при витраті 95 дм<sup>3</sup>/хв 3,1 мбар, що відповідає вимогам стандарту [16]. Зміна

опору фільтрів при збільшені витрати повітря наведена в табл. 5.8. Отримані результати при різних режимах роботи для чистого фільтра наведені на рис. 5.11 та максимально відпрацьованого (відпрацьованого  $\Delta P \geq 15$  мбар) – на рис. 5.12. Дане дослідження відповідно до вимог стандарту [15] проводиться одну годину, щоб продемонструвати забезпечення стабільності результатів. Згідно з вимогами [16], об'єм повітря, що надходить до маски від пристрою очищення повітря за одиницю часу, повинен бути не менше ніж  $120 \text{ дм}^3/\text{хв}$ . Як видно з наведених на рис. 5.11 та 5.12 графіків, витрата повітря через чисті фільтри для режимів роботи «Норма» і «Турбо» сягає 165 і  $215 \text{ дм}^3/\text{хв}$  відповідно, а через забруднені -  $131$  і  $185 \text{ дм}^3/\text{хв}$ .

Таблиця 5.8

**Результати вимірювання опору повітряному потоку фільтрів респіратору з примусовою подачею повітря**

Витрата, $\text{дм}^3/\text{хв}$ .	Максимальна величина опору при різних значення витраті повітря, мбар	Відхилення, %
95	3,1	6,0
120	4,3	2,3
160	6,1	1,6
197	8,1	3,7

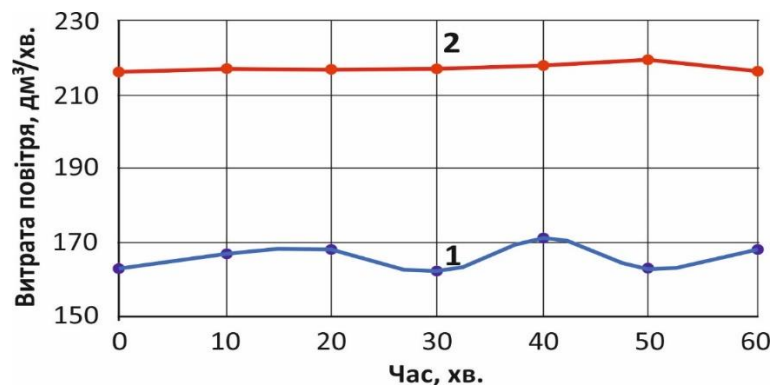


Рисунок 5.11 – Визначення максимальної величин витрати повітря при чистих фільтрах на режимах «Норма» (1) і «Турбо» (2) фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря

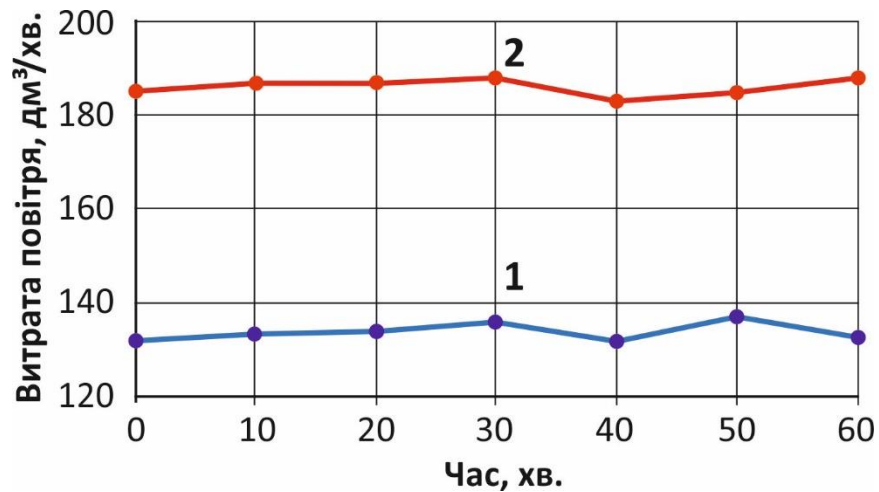


Рисунок 5.12 – Визначення максимальної величини витрати повітря при максимально забруднених фільтрах фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря з опором  $\Delta P \geq 15$  мбар на режимах «Норма» (1) і «Турбо» (2)

Експериментальне визначення надлишкового (позитивного) тиску, що створюється блоком очищення у режимах «Норма» та «Турбо» у підшоломному просторі фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря наведені у табл. 5.9

Таблиця 5.9

**Результати вимірювання надлишкового тиску у підмосковному просторі фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря при чистих фільтрах**

Перевірені зразки	Надлишковий тиск, мбар у режимах	
	«Норма»	«Турбо»
1	1,5	2,2
2	1,7	2,5
3	1,7	2,1
4	1,6	2,2
5	1,5	2,4
6	1,7	2,5

Певною перевагою даного дослідження над лабораторними випробуваннями, які регламентовані відповідним стандартом [16] є можливість вимірювання захисної ефективності не тільки на мінімальних технічних показниках очищувача повітря, а також і на максимальних, які характеризуються збільшеною витратою повітря. Передбачалося, що при збільшенні витрати повітря показники захисної ефективності покращаться

через підвищення позитивного тиску у підмасковому просторі, що і було доведено під час випробувань (табл. 5.9). Однак при цьому все ж таки можливе збільшення коефіцієнта проникнення тест-аерозолію через фільтри, що зумовлено зростанням швидкості фільтрування, а отже і меншим часом перебування аерозольних частинок всередині фільтрів, що погіршує ефект уловлювання частинок [17].

Одержаний осереднений результат коефіцієнта захисту випробуваних зразків коливався в межах від 99,93 до 99,97. Це підтверджує, що у підмасковому просторі створювався достатній позитивний тиск, який унеможлиблює підсмоктування аерозольних частинок через нещільності за смугою обтюрації. Наявний діапазон розкиду результатів пояснюється неоднорідністю коефіцієнта проникнення фільтрувальних елементів, які використовувались для випробувань, але він знаходиться в допустимих межах. Одержаний результат підтверджує і той факт, що вентилятор забезпечує рівномірну витрату повітря протягом встановленого терміну.

В ході дослідження також виявлено, що під час режиму «Турбо» об'єм повітря у підмасковому просторі був більш стабільнішим, що пояснюється подачею максимальної напруги живлення, яка зменшує реагування системи на сигнали зворотного зв'язку з таходатчика для регулювання частоти обертання крильчатки вентилятора. Відмітимо, що при виникненні даної ситуації система сповіщає користувача відповідним світлозвуковим сигналом «Замінити фільтр» [18, 19].

Додатково встановлено, що експериментально визначений надлишковий тиск в підмасковому просторі не перевищує 2,5 мбар, що цілком відповідає вимогам п. 6.5 стандарту згідно до якого він не повинен бути більш ніж 5 мбар. Стабільність технічних показників пристрою очищення повітря підтримується в заданому діапазоні при заряді акумуляторної батареї марки «Dinogy Li-Pol 11000mAh 14.8V 4S 25C не нижче 12 В для забезпечення величини струму не нижче 1,6 А.

## ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 5

1. 1. Встановлені закономірності руху повітря через блок очищення ЗІЗОД, що дозволяє виявляти і контролювати заданий об'єм повітряного потоку, який потрапляє в підмасковий простір пристрою до органів дихання користувача, показано, що за опору потоку в діапазоні від 1 до 7,5 мБар залежність об'єму повітряного потоку і від частоти обертання крильчатки є лінійною.

2. У результаті проведених імітаційних лабораторних випробувань з визначення захисної ефективності фільтрувальних респіраторів з примусовою подачею повітря на випробувачах встановлено, що осереднений результат коефіцієнта захисту випробуваних зразків коливався в межах від 99,93 до 99,97, що відповідає вимогам стандарту.

3. Визначено, що витрата повітря підтримується для чистих фільтрів на рівні 165 і 215 дм<sup>3</sup>/хв для режимів роботи «Норма» і «Турбо» відповідно, та для забруднених – 131 і 185 дм<sup>3</sup>/хв. Встановлено, що надлишковий тиск в підмасковому просторі не перевищує 2,5 мбар, що цілком відповідає вимогам ДСТУ EN 12941:2004.

4. Визначено, що стабільність технічних показників пристрою очищення повітря підтримується в заданому діапазоні при заряді акумуляторної батареї марки «Dinogy Li-Pol 11000mAh 14.8V 4S 25C» не нижче 12 В для забезпечення величини струму не нижче 1,6 А.

5. Показано, що при постійній масі сорбенту збільшення площі фільтра істотно знижує опір диханню, проте зменшення товщини сорбенту, призводить до зниження часу захисної дії фільтра. Збільшення площі фільтра, при однакових розмірах вихідного отвору фільтрувальної коробки з клапаном видиху призводить до нерівномірного розподілу швидкості фільтрації і відпрацювання ділянок фільтра. Найбільше навантаження по сорбції шкідливих газів відчуває ділянка навпроти вихідного отвору. Чим більше діаметр фільтра можна порівняти з діаметром вихідного отвору, тим

більше час захисної дії при одній і тій же товщині сорбенту. За умови рівномірної швидкості фільтрації визначити час захисної дії фільтра з гранулами активованого вугілля можна за отриманим рівнянням (3), що дозволяє проектувати респіратори, що відповідають конкретним вимогам.

Основні результати дослідження опубліковані у [11, 12, 19].



## ЛІТЕРАТУРА ДО РОЗДІЛУ 5

1. Balanay J.G., Lungu C.T. Morphologic and surface characterization of different types of activated carbon fibres. *Adsorpt. Sci. Technol.* 2012. Vol. 30, N 4. P. 355–367. DOI: 10.1260/0263-6174.30.4.355
2. Balanay J.A., Bartolucci A.A., Lungu C.T. Adsorption characteristics of activated carbon fibers (ACFs) for toluene: application in respiratory protection. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2014. Vol. 11, N 3. P. 133–143. DOI: 10.1080/15459624.2013.816433
3. Hung H.W., Lin T.F. Prediction of the adsorption capacity for volatile organic compounds onto activated carbons by the Dubinin-Radushkevich-Langmuir model. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 2007. Vol. 57, N 4. P. 497–506. DOI: 10.3155/1047-3289.57.4.497.
4. Li L., Sun Z., Li H., Keener T.C. Effects of activated carbon surface properties on the adsorption of volatile organic compounds. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 2012. Vol. 62, N 10. P. 1196–202. DOI: 10.1080/10962247.2012.700633
5. Lorimier C., Subrenat A., Le Coq L., Le Cloirec P. Adsorption of toluene onto activated carbon fibre cloths and felts: application to indoor air treatment. *Environ. Technol.* 2005. Vol. 26, N 11. P. 1217–1230. DOI: 10.1080/09593332608618600
6. Balanay J.A.G., Floyd E.L., Lungu C.T. Breakthrough Curves for Toluene Adsorption on Different Types of Activated Carbon Fibers: Application in Respiratory Protection. *Ann. Occup. Hyg.* 2015. Vol. 59, N 4. P. 481–490. DOI: 10.1093/annhyg/meu105
7. Fournel L., Mocho P., Fanlo J.L., Le Cloirec P. External capillary condensation and adsorption of VOCs onto activated carbon fiber cloth and felt. *Environ. Technol.* 2005. Vol. 26, N 11. P. 1277–1287. DOI: 10.1080/09593332608618598
8. Linders M.J., Mallens E.P., van Bokhoven J.J., Kapteijn F., Moulijn J.A. Breakthrough of shallow activated carbon beds under constant and pulsating

flow. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2003. Vol. 64, N 2. P. 173–180. DOI: 10.1080/15428110308984806

9. Чеберячко Ю.І., Наумов М.М. Дослідження існуючих конструкцій фільтрувальної коробки протипилових респіраторів. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. 15 червня 2017 р.*, Київ: КНУТД, 2017. С. 176.

10. Osmond N.M., Phillips P.L. Pressure Drop and Service Life Predictions for Respirator Canisters. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 2001. Vol. 62, N 3. P. 288–294. DOI: 10.1080/15298660108984630

11. Cheberiachko S.I., Yavorska O.O., Klimov D.H., Yavorskyi A.V. Effect of filtering box parameters on the protective action of gas filters. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* 2020. N 2. P. 89–95. DOI: 10.33271/nvngu/2020-2/089

12. Cheberyachko S., Deryugin O., Tretyak O., Pustovoi D. New Powered Air Respirator. *Significances Bioeng. Biosci.* 2021. Vol. 4, N 4. P. 400–403. DOI: 10.31031/SBB.2021.04.000594

13. Чеберячко С.І., Фрундін В.Ю., Чеберячко С.І. Оцінка впливу конструкції клапанів видихання на перепад тиску респіраторів. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях».* 2017, № 7. С. 219–224.

14. Jones B., Nachtsheim C.J. Split-plot designs: What, why, and how. *J. Qual. Technol.* 2009. Vol. 41, N 4. P. 340–361. DOI: 10.1080/00224065.2009.11917790

15. Harber P., Yun D., Santiago S., Bansal S., Liu Y. Respirator impact on work task performance. *J. Occup. Env. Med.* 2011. Vol. 53, N 1. P. 22–26. DOI: 10.1097/JOM.0b013e3181febc75

16. Wu S., Harber P., Yun D., Bansal S., Li Y., Santiago S. Anxiety during respirator use: Comparison of two respirator types. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2011. Vol. 8, N 3. P. 123–128. DOI: 10.1080/15459624.2011.549780

17. Wagner N., Boland S., Taylor B., Keen D., Nelson J., Bradley T. Powertrain Design for Hand-Launchable Long Endurance Unmanned Aerial

Vehicles. *47<sup>th</sup> AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit*. 31 July -03 August 2011, San Diego, California. DOI: 10.2514/6.2011-6047

18. Cohen H.J., Hecker L.H., Mattheis D.K., Johnson J.S., Biermann A.H., Foote K.L. Simulated workplace protection factor study of powered air-purifying and supplied air respirators. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 2001. Vol. 62, N 5. P. 595-604. DOI: 10.1080/15298660108984658

19. Чеберячко Ю.І., Радчук Д.І., Столбченко О.В., Наумов М.М., Книш І.М. Розробка алгоритму виготовлення наголів'я з урахуванням даних 3D моделей голів користувачів. *Геотехнічні проблеми розробки родовищ: Матеріали ХІХ міжнародної конференції молодих вчених*. 28 жовтня 2021 року, м. Дніпро. Дніпро: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, 2021. С. 163–169.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, що є завершеним науковим дослідженням, розглянуто виконання актуального науково-прикладного завдання, яке полягає в забезпеченні захисту органів дихання користувачів під час їхньої евакуації із небезпечних зон, що виникають з настанням надзвичайних ситуацій, пов'язаних у першу чергу з викидом значної кількості діоксиду сірки. Основним шляхом вирішення цього завдання було створення нової конструкції моторованого фільтрувального ЗІЗОД на основі обґрунтованого вибору його складових частин, зокрема: типу маски, яка здатна з потрібною щільністю прилягати до обличчя користувача та має безпечні й комфортні характеристики; вентилятора, який сприяє у подачі необхідної кількості повітря в підмасковий простір з урахуванням опору фільтрів, а також акумулятора, ємність якого може підтримувати роботоздатність системи протягом заданого терміну експлуатації. На відміну від відомих конструкцій у новій задіяно спеціальний блок контролю параметрів повітряного потоку, вмонтований між блоком керування та блоком живлення через стабілізатор напруги. При цьому новий пристрій обладнано багатофункціональною системою датчиків, встановлених у його корпусі, які роблять можливим регулювання основних параметрів повітряного потоку в підмасковому просторі ЗІЗОД.

Запровадження описаних заходів має такі результати:

1. Було визначено основні недоліки моторованих фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання, а саме: низька ефективність вентилятора через значний опір потоку повітря, який виникає у повітропроводі через незначні розміри повітряних каналів; неефективна робота системи керування пристроєм, коли в умовах різкого підвищення витрати повітря (понад 300 л/хв.), пов'язаної з виконанням важкої роботи, вентилятор вмикається із запізненням; низька всмоктувальна спроможність

відцентрованого вентилятора, через що його неможливо використовувати в разі забруднення атмосфери кількома різними шкідливими речовинами.

2. Підтверджено, що досягнення заданих показників коефіцієнта захисту фільтрувальних ЗІЗОД (респіраторів) забезпечується за рахунок доповнення алгоритму проектування двома кроками, які дозволяють проводити контроль захисних властивостей макетів пристрою на етапі їх розробки і коригувати захисні характеристики в разі їх відхилення від показників, запланованих технічним завданням.

3. Встановлено, що значення коефіцієнта ізоляції маски підвищується за рахунок збільшення притискних зусиль обтюратора до обличчя користувача, що досягається не тільки шляхом рівномірного розподілу притискних зусиль і підвищення еластичності матеріалу обтюратора, а й облаштуванням на ньому спеціальної роздільної смуги, яка має урахувати особливості антропометричної будови обличчя.

4. Доведено, що у відповідному програмному середовищі найбільший вплив на кількість уловлювання небезпечних аерозолів чинять такі фактори: швидкість фільтрування, нерівномірність завантаження адсорбера на площині фільтра через різницю розмірів вхідного та вихідного отворів. Вплив цих факторів запропоновано зменшити завдяки застосуванню решіток різних конструкцій, розміщених відразу після вхідного отвору фільтра.

5. Розроблені ІВХС кислих газів пролонгованої дії, що забезпечують нормовані вимоги (час захисної дії становить 20 хвилин і більше з концентрацією  $\text{SO}_2$  у ГПС –  $2700 \text{ мг/м}^3$ ) для протигазових фільтрів класу Е1 (діоксид сірки).

6. Спроектовано нову конструкцію фільтрувального ЗІЗОД з примусовою подачею повітря, в яку введений новий елемент – блок контролю параметрів повітряного потоку (об'єму, швидкості, температури, вологості), який надходить у підмасковий простір фільтрувального ЗІЗОД. Цей компонент дає можливість контролювати необхідний об'єм повітря

шляхом керування кількістю обертів вентилятора в заданому діапазоні з урахуванням частоти та глибини дихання користувача в залежності від фізичного навантаження.

7. Обґрунтовано процедуру вибору складових частин респіратора, зокрема типу маски, яка достатньо щільно прилягала б до обличчя користувача та була б безпечною й комфортною; виду вентилятора, здатного подавати необхідну кількість повітря в підмасковий простір ЗІЗОД з огляду на параметри опору фільтрів та ємність акумулятора. Перелічені елементи пристрою мають підтримувати своїми функціями заданий термін працездатності системи, що відповідає четвертому кроку алгоритму розробки засобів індивідуального захисту органів дихання, а саме контролю захисних властивостей елементів конструкції респіратора на етапі розробки макету.

8. За результатами моделювання й дослідження руху повітря через блок очищення респіратора встановлено, що величина об'єму повітряного потоку, який потрапляє в підмасковий простір, лінійно залежить від частоти обертання крильчатки вентилятора, однак якщо опір повітряному потоку через фільтри перевищує 7-7,5 мБар, то залежність стає нелінійною, а це своєю чергою пов'язано зі зміною характеру фізичного навантаження користувача.

9. Визначено, що витрата повітря під час експлуатації чистих фільтрів у режимах роботи «Норма» і «Турбо» становить 165 і 215  $\text{дм}^3/\text{хв}$ . відповідно, а забруднених – 131 і 185  $\text{дм}^3/\text{хв}$ . Встановлено, що надлишковий тиск у підмасковому просторі пристрою не перевищує 2,5 мбар, що повністю задовольняє вимогам ДСТУ EN 12941:2004.

10. Як показали результати досліджень, збільшення площі фільтра при однакових розмірах вихідного отвору фільтрувальної коробки і клапана видиху призводить до нерівномірного розподілу швидкості фільтрації та відпрацьовування окремих ділянок фільтра. Найбільше навантаження під час процесу сорбції (поглинання) шкідливих газів зазнає ділянка фільтру навпроти вихідного отвору. Чим більше діаметр фільтра сумісний з

діаметром вихідного отвору, тим більше час захисної дії при однаковій товщині шару сорбенту. За умови рівномірної швидкості фільтрації можна визначити тривалість захисної дії фільтра з гранулами активованого вугілля, скориставшись отриманим для цього рівнянням.

З огляду на визначені вище залежності стає можливим проектувати респіратори, які відповідають конкретним вимогам експлуатації.

**Випробувальна лабораторія засобів індивідуального захисту ТОВ «СКІ»  
(ВЛ ЗІЗ ТОВ «СКІ»)**

Юридична адреса: 49000, м. Дніпро, вул. Виконкомівська, 15  
Місцезнаходження ООВ: 49031, м. Дніпро, вул. Дніпросталівська, 1



**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач ВЛ ЗІЗ ТОВ «СКІ»  
\_\_\_\_\_ Д.І. Радчук  
*Вересень* 2020 р.

**ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ № 59/2020 (ВЗ) (від 09.09.2020)**

**Замовник:** каф. охорони праці та цивільної безпеки, НТУ «Дніпровська політехніка», 49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19, ЄДРПОУ 02070743.

**Об'єкт випробувань:** Експериментальний зразок моторового фільтрувального респіратора.

**Виробник:** НТУ «Дніпровська політехніка», 49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19, ЄДРПОУ 02070743.

**Випробування здійснювались на підставі:** Заявки на проведення випробувань, зареєстрованої у випробувальній лабораторії за № ВЗ-59/2020 від 31.08.2020 р. Договору про співробітництво між НТУ «Дніпровська політехніка» та ТОВ «СТАНДАРТ КАПІТАЛ ІНВЕСТ».

**Зразки відібрані:** Акт передачі зразків відсутній. На випробування надано експериментальний зразок у кількості 1 шт. та змінні фільтри до нього.

**Дата отримання зразків:** 31.08.2020 р.

**Дата проведення випробувань:** 08.09.2020 р.

**Випробування проводилися:** Згідно завдання на проведення випробувань від каф. ОП та ЦБ НТУ «ДП».

**Умови випробування:** Температура повітря – 20-21 °С.  
Відносна вологість – 68-74 %.

**Опис виробу:** Пристрій складається з моторового нагнітального пристрою, який з'єднується маскою через шланг, місце для приєднання двох фільтрів (або одного фільтра та заглушки) та випускних клапанів.

**Засоби вимірювання:** Секундомір електронний HS-43, установка з визначення коефіцієнта проникання і загального коефіцієнту проникання протиаерозольного фільтра, ротаметри ГУЗ, мікроманометр електронний Testo 512.

**Методи випробування:** ДСТУ EN 13274-1:2005 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Методи випробування Частина 1. Визначення коефіцієнта проникання і загального коефіцієнта проникання».  
ДСТУ EN 13274-3:2005 «Засоби індивідуального захисту органів дихання. Методи випробувань частина 3. Визначення опору диханню».

**Стан та ідентифікація виробу:** Зразки перевірялись без будь-якого попереднього впливу.  
Зразкам були присвоєні реєстраційні номери: ВЗ-59/2020 №1 для моторового фільтрувального респіратора та ВЗ-59/2020 №1-1 - ВЗ-59/2020 №1-12 для фільтрів до нього.

*Результати стосуються зразків, у тому вигляді, у якому їх було отримано.*

09.09.2020 протокол випробувань № 59/2020 (ВЗ) моторовий респірастор

сторінка 1 з 2

**Примітка.** Результати випробувань розповсюджуються лише на зразки, що пройшли випробування. Протокол вважається дієним тільки після затвердження. Забороняється частково або повністю передруковувати протокол, а також будь-яким іншим способом використовувати без дозволу випробувальної лабораторії

ВЛ ЗІЗ ТОВ «СКІ» ФСУ-7.8/01 Протокол випробувань версія № 04 від 07.2020



### Результати випробувань

*Результати з коефіцієнту проникання і загального коефіцієнта проникання моторового фільтрувального респіратора*

Номер випробувача та режим	Ходіння мовчки	Ходіння мовчки, глиб дих.	Рухи головою ліво/право	Рухи головою вгору/вниз	Промовляння	Ходіння мовчки	Середнє значення
1 Норма	0,05	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,05
1 Турбо	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03
2 Норма	0,01	0,02	0,02	0,045	0,01	0,02	0,02
2 Турбо	0,04	0,07	0,08	0,08	0,1	0,05	0,07
3 Норма	0,03	0,05	0,05	0,07	0,04	0,06	0,05
3 Турбо	0,02	0,05	0,04	0,04	0,06	0,02	0,04
4 Норма	0,005	0,01	0,005	0,005	0,008	0,005	0,01
4 Турбо	0,02	0,025	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03
5 Норма	0,04	0,07	0,08	0,06	0,1	0,06	0,07
5 Турбо	0,01	0,06	0,03	0,07	0,08	0,08	0,06
6 Норма	0,01	0,04	0,05	0,03	0,04	0,02	0,03
6 Турбо	0,02	0,05	0,02	0,03	0,06	0,04	0,04

*Результати випробувань з визначення витрати повітря, що створюється пристроєм*

Позначення зразка	Режим роботи приладу	Виміряне значення витрати повітря, дм <sup>3</sup> /хв.
V3-59/2020 №1-1	Норма	102
V3-59/2020 №1-2	Турбо	143
V3-59/2020 №1-3	Норма	108
V3-59/2020 №1-4	Турбо	146
V3-59/2020 №1-5	Норма	101
V3-59/2020 №1-6	Турбо	155
V3-59/2020 №1-7	Норма	107
V3-59/2020 №1-8	Турбо	145
V3-59/2020 №1-9	Норма	97
V3-59/2020 №1-10	Турбо	143
V3-59/2020 №1-11	Норма	109
V3-59/2020 №1-12	Турбо	146

*Результати випробувань з визначення опору фільтру, що встановлено на пристрої*

Позначення зразка	Режим роботи приладу	Виміряне значення опору фільтру, мбар.
V3-59/2020 №1-1	Норма	3,3
V3-59/2020 №1-2	Турбо	5,6
V3-59/2020 №1-3	Норма	3,5
V3-59/2020 №1-4	Турбо	5,7
V3-59/2020 №1-5	Норма	3,4
V3-59/2020 №1-6	Турбо	6,1
V3-59/2020 №1-7	Норма	3,4
V3-59/2020 №1-8	Турбо	5,7
V3-59/2020 №1-9	Норма	3,1
V3-59/2020 №1-10	Турбо	5,4
V3-59/2020 №1-11	Норма	3,8
V3-59/2020 №1-12	Турбо	5,6

**КІНЕЦЬ ПРОТОКОЛУ**

09.09.2020 протокол випробувань № 59/2020 (ВЗ) моторовий респіратор

Примітка. Результати випробувань розповсюджуються лише на зразки, що пройшли випробування. Протокол втраєть свою дієвість тільки після затвердження. Забороняється частково або повністю передрукуювати протокол, а також будь-яким іншим способом використовувати без дозволу випробувальної лабораторії.

ВЛ ЗІЗ ТОВ «СКІ» ФСУ-7.8/01 Протокол випробувань версія № 04 від 07.2020



сторінка 2 з 2