

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФІЗИКО-ХІМІЧНИЙ ІНСТИТУТ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА І ЛЮДИНИ, НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

УДК 614.896

КНИШ ІВАН МИХАЙЛОВИЧ

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КАРКАСІВ ЛЕГКИХ
ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ПІВМАСОК ШВИДКОГО ПРИЛАШТУВАННЯ**

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

_____ І.М. Книш

Наукові керівники – Голінько Василь Іванович
доктор технічних наук, професор
Хома Руслан Євгенійович
доктор хімічних наук, професор

Дніпро – 2022

АНОТАЦІЯ

Книш І.М. Обґрунтування параметрів каркасів легких фільтрувальних півмасок швидкого прилаштування. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – цивільна безпека (26 – цивільна безпека) – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини, Національна академія наук України, Міністерство освіти і науки України, Одеса, 2022.

У дисертаційній роботі, що є завершеною науковою роботою, подано вирішення актуального науково-прикладного завдання, що полягає у забезпеченні захисту органів дихання працівників від дії аеродисперсних частинок, основних газів (зокрема NH_3) і парів шляхом розробки і впровадження універсальної конструкції фільтрувальних протипилового та протигазового респіраторів, півмаски котрих придатні для використання працівниками з антропометричними особливостями обличчя, тобто стійко і щільно прилягає до обличчя по смузі обтюрації підчас експлуатації респіраторів, а також засобів індикації щільного і рівномірного прилягання обтюратора до обличчя без утворення вм'ятин.

Виконано аналіз літературних даних щодо розробки, освоєння виробництва, впровадження, експлуатації та зберігання респіраторів. Висвітлено суттєві недоліки з оцінки їх якості, зокрема, потенційну їх небезпеку для користувачів, коли ігнорується можливість проникання шкідливих аерозолів, газів і парів у підмасковий простір, а, точніше, необхідність законодавчо встановленої профілактики дихання шляхом використання лише респіраторів відповідного типу і класу, функціональне призначення яких відповідає умовам експлуатації, ергономічним та санітарно-гігієнічним вимогам. Показано, що проектування респіраторів на даний час

ґрунтується, переважно, на ерудиції, інтуїції та досвіді конструкторів щодо використання, баз даних про відомі аналоги. Цей досить складний процес характеризується як комплекс дій з пошуку ідей, проведення відповідних досліджень та розрахунків, спрямованих на розробку технічної документації, необхідної для створення і виготовлення виробів з заданими відповідно до ТЗ технічними характеристиками – вимогами до наступних показників: функціонального призначення фільтруючих елементів або/і респіраторів (коефіцієнт проникання, пиломісткість та хемосорбційна здатність); ергономічності вузлів клапанів вдиху і видиху, півмаски, обтюратора, наголів'я (опір вдиху та видиху, відповідність півмаски антропометричним розмірам обличчя, вміст діоксиду вуглецю у вдихуваному повітрі, поле зору, можливість вести переговори); надійності (стабільність часу захисної дії, а також показників ергономічності протягом задекларованого терміну зберігання та експлуатації).

Запропонований швидкий метод оцінки щільності прилягання півмаски до обличчя з використанням термографування поверхні обтюратора який дозволяє за рахунок обробки і порівняння зображення з еталонним знімком смуги обтюраторії за допомогою засобів математичного середовища Matlab, розрахувати коефіцієнт щільності прилягання засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) до обличчя з урахуванням сили натягу наголів'я, що дозволяє попередньо визначити коефіцієнт захисту ЗІЗОД.

Запропоновано метод з визначення коефіцієнта підсмоктування тест-аерозолі на добровольцях за смугою обтюраторії півмаски з урахуванням величини сили натягу стрічок наголів'я респіратору, за рахунок використання спеціального гнучкого датчику Conductive Rubber Cord Stretch Sensor, виконаного у вигляді еластичного шнура, електричний опір якого при розтягуванні змінюється лінійно.

Удосконалено метод проектування легких півмасок, який складається з чотирьох кроків: аналіз умов праці та вибір необхідного фільтрувального матеріалу; обробка антропометричних розмірів осіб потенційних користувачів;

проектування 3D-моделі каркаса півмаски; лабораторна перевірка захисних властивостей готового виробу та внесення змін в конструкцію, який відрізняється від відомих наявністю механізму побудови декількох 3D-моделей голови, які забезпечують допустиму щільність прилягання півмаски для 95 % потенційних користувачів.

Визначено основні антропометричні розміри обличчя користувачів, які найбільше впливають на щільність прилягання півмасок до обличчя; на їх основі були побудовані п'ять полігональних 3D-моделей голови, що охоплюють 95 % потенційних користувачів, виходячи із ключових координат 3D-моделей голови методом інтерполяції побудовано поверхню півмаски.

Показано, що у півмасок, в основі розрахунку поверхні яких були розміри довжини і ширини обличчя сумарна площа смуги обтюратору у 1,4 рази більша, ніж у півмасок, поверхня яких будувалась за довжиною обличчя і губ, що дозволило у першому варіанті покращити захисні властивості.

Розроблено нову конструкцію каркаса фільтрувальної легкої півмаски зі змінною геометрією обтюратора, що дозволяє змінювати розмір смуги обтюратору, за рахунок наявності спеціальних точок кріплення, які спільно з розміщеним по периметру каркаса в спеціальному каналі, гумовим шнуром, який закріплює фільтрувальний елемент, дозволяє змінювати розмір півмаски відповідно до розмірів особи користувача.

Запропоновано алгоритм проектування наголів'я фільтрувальної півмаски, який за основу використовує ключові антропометричні точки, що визначаються за даними цифрової 3D-моделі голови, який складається з трьох кроків: визначення розмірів зон обличчя, які характеризуються однаковою пружністю ділянок; встановлення параметрів сітки для деталізації областей дослідження, яка наноситься на моделі обличчя і півмаску та розрахунок площі контакту між півмаскою і обличчям для оцінки щільності прилягання через порівняння встановлених контактних плям; реалізація такого підходу дозволяє швидко перевіряти розподіл притискних зусиль у запропонованих моделях наголів'я та

раціоналізувати конструкцію вже існуючих за площею прилягання півмаски до обличчя і величиною тиску на голову користувача.

Встановлено, що коефіцієнт підсмоктування АДЧ у підмасковий простір респіратора залежить від розміщення точок кріплення наголів'я та напряму утвореної ним притискної сили, від якої виникає обертальний момент, що діє на півмаску, та складається певне співвідношення дотичних та нормальних до обличчя сил. Ці сили під час руху півмаски призведуть до зсувів маски та утворенням зазорів, через які аерозоль підсмоктується в підмасковий простір.

Розроблені імпортозамінюючі імпрегновані волокнисті хемосорбенти (ІВХС) забезпечують нормовані вимоги для протигазових фільтрів класу К1 (аміак); ІВХС основних газів з візуальною індикацією "спрацювання" динамічної поглинальної ємності (ІВХС-І). Вказаними ІВХС та ІВХС-І впроваджені на практиці та використовуються для виготовлення протигазових елементів полегшених протигазових та газопилозахисних респіраторів.

Запропоновано для контролю розтягування стрічок наголів'я розміщення у спеціальній вставці шматка еластомірного матеріалу із забарвленими відповідно до його еластичності зон різного кольору (червоний, помаранчевий, зелений), при розтягуванні якої в щілині спеціальної вставки буде відображатись те забарвлення яке відповідає величину прикладеної сили натягу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

удосконалено:

– методичні підходи до оцінювання причин погіршення ефективності фільтрувальних протипилових півмасок при їх експлуатації на виробництві, за рахунок запровадження новітніх способів перевірки щільності прилягання півмасок, визначення раціональної кількості випробувань та статистичної обробки для зменшення невизначеності вимірювання;

– науково-методичний інструментарій для швидкої оцінки щільності прилягання півмаски до обличчя з використанням термографування поверхні

обтюратора з урахуванням сили натягу наголів'я, що дозволяє попередньо визначити коефіцієнт захисту ЗІЗОД;

– концептуальні підходи до розробки та проектування нових конструкцій фільтрувальних півмасок на основі чотирьох кроків: аналіз умов праці; обробка антропометричних розмірів; проектування 3D-моделей півмасок; лабораторна перевірка захисних властивостей готового зразку, що відрізняється від відомих наявністю механізму побудови декількох 3D-моделей голови, які забезпечують допустиму щільність прилягання півмаски для 95 % потенційних користувачів;

– організаційний механізм контролю за захисною ефективністю півмасок під час її експлуатації за інтенсивністю теплового випромінювання поверхні у інфрачервоному діапазоні та відображення теплового поля поверхні обтюратора на дисплеї тепловізору у вигляді кольорової картинки;

набув подальшого розвитку:

– підхід до побудови цифрової моделі голови з одержанням тривимірних координат ключових точок за якими розраховуються параметри функції, що описує поверхню півмаски та швидкого визначення коефіцієнту захисту з проектованої півмаски шляхом поєднання цифрових зображень обличчя і респіратору.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що її теоретичні й методичні положення дозволили розробити алгоритм створення нового фільтрувального респіратору із застосуванням іонообмінних волокнистих фільтрувальних матеріалів, який ґрунтується на узагальнені (систематизації) комплексу послідовних дій, що дозволять звести характеристики конкретних елементів: цифрової моделі голови, поверхні півмаски і обтюратора зі змінною геометрією обтюратора побудованих на основі антропометричних характеристик працівників різного віку, національності та статті, високоефективних фільтрувальних матеріалів, індикаторів для контролю нормованого питомого тиску півмаски на обличчя за смугою обтюратора, поверхні прилягання півмаски до обличчя в єдине ціле для забезпечення максимального коефіцієнта захисту працівників на різних

промислових виробництвах. Запропоновано склади водних розчинів з використанням лимонної кислоти для отримання ІВХС NH_3 ; ІВХС NH_3 з індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності (ІВХС-І). Застосування ІВХС-І дозволило своєчасно візуально визначати момент “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності ПГЕ полегшених респіраторів, а отже, нормування використання ПГЕ або респіраторів. Вказаними ІВХС та ІВХС-І споряджуються протигазові та газопилозахисні респіратори «КЛЕН» та «ШАХТАР», що виготовляються Дослідним виробництвом ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України (м. Одеса).

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

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

SUMMARY

Knysh I.M. Substantiation of frames parameters for light filtering half masks of quick adjust. - 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, Physical-Chemical Institute for Environment and Human Protection, National Academy of Sciences of Ukraine, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2022.

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 from the action of aerodisperse particles by developing and implementing the universal design of filtering dust and gaseous respirator, half-mask of which is suitable for use by workers with the anthropometric features of the face, i.e. it is firmly and tightly adjacent to the face along the obturation line during operation as well as means of indicating a tight and uniform fit of the obturator to the

face without dents.

The analysis of literary data was carried in relation to development, production mastering, introduction, exploitation, and storage of respirators. Significant shortcomings are shown as associated with the estimation of their quality, in particular, their potential danger for users, when possibility of penetration of harmful aerosols into the submask space is neglected, and, more precisely, necessity of the legislatively set prophylaxis of breathing by the use respirators of only proper type and class with functional objectives corresponding to working environments, ergonomics and sanitary-hygienic requirements. It is shown that respirators design is currently based mainly on erudition, intuition and experience of designers in relation to the use and data bases covering the well-known analogues. This rather complex process is characterized as a set of actions to find ideas, conduct research and calculations aimed at developing technical documentation necessary for the creation and manufacture of products with specified in accordance with the technical task technical characteristics – requirements for the following indicators: functional purpose of filtering elements or / and respirators (penetration rate, dust content, and gases); ergonomics of inhalation and exhalation valve assemblies, half-mask, obturator, headband (inhalation and exhalation resistance, conformity of half-mask to anthropometric dimensions of the face, carbon dioxide content in inhaled air, field of view, possibility to negotiate); reliability (stability of time of protective action, and also indicators of ergonomics during the declared term of storage and operation.

A quick method for estimating the tightness of the half-mask to the face using thermography of the obturator surface is proposed. It enables calculating of the coefficient of RPD tightness to the face, taking into account the force of tension of the headband by processing and comparing the image with the reference image of the obturation band using the mathematical environment Matlab, which allows you to pre-determine the coefficient of RPD protection.

The method for determining the suction coefficient of the test aerosol on volunteers in the obturation band of the half-mask was proposed. It takes into account the tension of the respirator headbands, using a special flexible sensor Conductive

Rubber Cord Stretch Sensor, made in the form of an elastic cord with electric resistance changing linearly in case of stretching.

The method was improved for designing light half-masks, which consists of four steps: analysis of working conditions and selection of the necessary filtering material; processing of anthropometric dimensions of faces of potential users; designing a 3D model of the half-mask frame; laboratory verification of the protective properties of the finished product and changes in the design, which differs from the known ones by presence of the mechanism of construction of several 3D models of the head providing the allowable tightness of the half-mask for 95% of potential users.

The main anthropometric dimensions of users' faces having the greatest influence on the tightness of half-masks to the face are determined. According to them five polygonal 3D models of the head were built covering 95% of potential users, based on the key coordinates of 3D models of the head, the surface of the half-mask was constructed by interpolation.

It is shown that in half-masks based on the calculation of the surface length and width of the face the total area of the obturation band is 1.4 times larger than in half-masks with the surface built on the length of the face and lips, which allowed improving protective properties in the first case.

A new design of the frame of the filtering light half-mask with variable geometry of the obturator has been developed, which allows changing the size of the obturation band due to the presence of special mounting points. The points together with the rubber cord placed on the perimeter of the frame in a special channel, which fixes the filter element, allow change of the size of the half-mask according to the user's face size.

The algorithm for designing the headband of the filter half-mask is proposed, based on key anthropometric points determined by digital 3D model of the head, which consists of three steps: determining the size of facial areas, which are characterized by the same elasticity of areas; setting the parameters of the grid to detail the areas of the study, which is applied to the model of the face and half-mask,

and the calculation of the contact area between the half-mask and the face to assess the tightness through comparison of the established contact spots. The implementation of this approach allows you to quickly check the distribution of clamping forces in the proposed models of the headband and streamline the design of the existing models in terms of the half-mask tightness to the face and the amount of pressure on the user's head.

It is established that the coefficient of suction of aerosols into the submask space of the respirator depends on the location of the attachment points of the headband and the direction of the clamping force generated by it, which causes the torque acting on the half-mask and a certain ratio of tangential and normal forces to the face. These forces during the movement of the half-mask will lead to shifts of the mask and the formation of gaps through which the aerosol is sucked into the submask space.

The developed import-substituting impregnated fibrous chemisorbents (IFCS) meet the standardized requirements for gas filters of class K1 (ammonia); IFCS of basic gases with a visual indication of the "triggering" of the dynamic absorption capacity (IFCS-I). The specified IFCS and IFCS-I are implemented in practice and are used for the production of gas-resistant elements of lightweight gas- and dust-proof respirators.

It is proposed to control the stretching of the headband by placing a piece of elastomeric material with colored according to its elasticity zones of different colours: red, orange, green, in a special insert. When stretching, in the slit of the special insert the colour that corresponds to the magnitude of the applied tension force will be displayed.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

improved:

- methodological approaches to assessing the causes of deterioration of the efficiency of filtering dust and gaseous masks during their operation in production, due to the introduction of new methods of checking the tightness of half-masks, determining the rational number of tests and statistical processing to reduce

measurement uncertainty;

- scientific and methodological tools for rapid assessment of the tightness of the half-mask to the face using thermography of the obturator surface, taking into account the force of tension of the headband, which allows you to pre-determine the RPD protection factor;

- conceptual approaches to the development and design of new designs of filtering half-masks based on four steps: analysis of working conditions; processing of anthropometric dimensions; design of 3D models of half-masks; laboratory verification of the protective properties of the finished product, which differs from the known ones by presence of the mechanism of construction of several 3D models of the head, which provide an allowable tightness of the half-mask for 95% of potential users;

- organizational mechanism of control over the protective efficiency of half-masks during the operation by the intensity of thermal radiation of the surface in the infrared range and the reflection of the thermal field of the obturator surface on the display of the thermal imager in the form of a colour picture;

further developed:

- an approach to building a digital model of the head with three-dimensional coordinates of key points that calculate the parameters of the function describing the surface of the half-mask and quickly determine the protection factor from the projected half mask by combining digital images of face and respirator.

The practical significance of the obtained results of the dissertation is that its theoretical and methodological provisions allowed to develop an algorithm for creating a new filter respirator, which is based on a generalization (systematization) of a series of sequential actions to combine the characteristics of specific elements: digital head model, the surfaces of half-mask and obturator with variable geometry of the obturator built on the basis of anthropometric characteristics of workers of different ages, nationalities and sex, highly effective filter materials, indicators to control the normalized specific pressure of the half-mask on the face in the obturation band, the surface of the half-mask tightness to the face into the unity in order to

provide the maximum factor of workers protection in different productions. Compositions of aqueous solutions with the use of citric acid are proposed for obtaining IFCS NH_3 ; IFCS NH_3 with an indication of “response” of the dynamic absorption capacity (IFCS -I). The use of IFCS-I made it possible to visually determine the moment of “response” of the dynamic GPE absorption capacity of lightweight respirators in a timely manner, and therefore, to regulate the use of GPE or respirators. The specified IFCH and IFCH-I are equipped with anti-gas and gas-dust protective respirators “KLEN” and “SHAKHTAR”, manufactured by the Experimental Production of Physical-Chemical Institute for Environment and Human Protection of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Odesa).

Key words: respirator, gas protection element, headgear, half mask, frame, protection factor, suction factor, fit density, ammonia.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Яворська О.О., Книш І.М. *Проблеми перевірки захисних властивостей фільтрувальних респіраторів*. Збірник наукових праць НГУ. 2018. № 55. С. 384-391.
2. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Дерюгін О.В., Піщикова О.В., Книш І.М. *Удосконалення клапанних систем фільтрувальних респіраторів*. Гірничий вісник техн. зб. 2021. № 109. С. 25-30.
3. Еннан А.А., Хома Р.Є., Длубовський Р.М., Захаренко Ю.С., Бенковська Т.С., Книш І.М. *Моно- та біфункціональні імпрегновані волокнисті хемосорбенти респіраторного призначення*. Вісник ОНУ. Хімія. 2022. Т. 27. № 1(81). С. 5 – 31. DOI: 10.18524/2304–0947.2021.4(80).248297
4. 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(82). С. 93–107. DOI: 10.18524/2304–0947.2022.2(82).264892

Статті у виданнях включених до бази SCOPUS:

5. Bazaluk O., Ennan A., Cheberiachko S., Deryugin O., Cheberiachko Y., Saik P., Lozynskiy V., Knysh I. *Research on Regularities of Cyclic Air Motion through a Respirator Filter*. Appl. Sci. 2021. Vol. 11, N 7. P. 3157. DOI: 10.3390/app11073157
6. Cheberiachko S., Pustovoi D., Knysh I., Sharovatova O. *Research of Operational Properties of Household Fabrics for Production of Protective Masks*. Mater. Sci. Forum. 2021. Vol. 1038. P. 221–232. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.221

Матеріали наукових конференцій:

7. Еннан А.А., Чеберячко С.І., Книш І.М. *Щодо визначення щільності прилягання напівмасок до обличчя*. V Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві –

освіта, наука, практика». Херсон, 13-15 вересня 2018. С. 71-74.

8. Еннан А.А.-А., Абрамова Н.М., Чеберячко С.І., Книш І.М. *Результати модернізації конструкції протипилового респіратора «ШАХТАР»*. V Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика». Херсон, 13-15 вересня 2018. С. 75-77.
9. Еннан А.А.-А., Абрамова Н.М., Чеберячко С.І., Книш І.М. *Щодо вибору ефективних фільтрувальних респіраторів*. VI Міжнародна науково-практична конференція “Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика”. Херсон, 11-14 вересня 2019. С. 127-128.
10. Чеберячко С.І., Книш І.М. *Тенденції розвитку сучасних фільтрувальних протиаерозольних півмасок*. II Міжнародна науково-практична конференція “Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи”. Київ, 4–5 червня 2019. С. 246–251.

Статті у інших виданнях

11. Голінько В.І., Чеберячко С.І., Книш І.М. *На захисті дихання*. Охорона праці і пожежна безпека. 2019. № 3. С. 23-28.

Патенти

12. Патент України на корисну модель UA 119685, МПК А62В 7/00 *Протипиловий респіратор пролонгованої дії "Шахтар-ПД"*. Еннан А.А.-А., Чеберячко С.І., Абрамова Н.М., Книш І.М. № u201700142; заявл. 03.01.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.
13. Патент України на корисну модель UA 127920, МПК G01N 21/31, G01N 21/35, G01N 21/88. *Спосіб візуалізації місць нещільного прилягання напівмасок до обличчя*. Еннан А.А., Чеберячко С.І., Книш І.М., Хома Р.Є., Абрамова Н.М. № u201802701; заявл. 16.03.2018, опубл. 27.08.2018, Бюл. № 16.

14. Патент України на корисну модель UA 149658, МПК А62В 7/00, МПК А62В 9/00. *Гігієнічний обтюратор до гумової півмаски респіратора*. Еннан А.А., Абрамова Н.М., Книш І.М., Хома Р.Є. № u202103969; заявл. 07.07.2021; опубл. 25.11.2021, Бюл. № 47.
15. Патент України на корисну модель UA 149660, МПК А62В 7/00. *Плоский респіратор*. Еннан А.А., Книш І.М., Абрамова Н.М., Чеберячко С.І. № u2021003971; заявл. 07.07.2021; опубл. 25.11.2021, Бюл. № 47.

ЗМІСТ

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.....	19
ВСТУП	21
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ З ПІДВИЩЕННЯ	
ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ.	
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
1.1. Аналіз конструкції сучасних фільтрувальних протипилових та протигазових респіраторів та їх конструктивних елементів	28
1.2. Показники якості фільтрувальних ЗІЗОД	41
1.3 Імпрегновані волокнисті хемосорбенти аміаку респіраторного призначення	47
Висновки за розділом 1. Постановка задач досліджень	51
Література за розділом 1	54
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ	
ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ	
2.1. Стандартизовані методи дослідження показників якості ЗІЗОД.....	59
2.2. Метод визначення коефіцієнта підсмоктування тест-аерозолію хлориду натрію з урахуванням сили натягу стрічок наголів'я.....	60
2.3. Метод визначення щільності прилягання півмаски до обличчя за методом термографування.....	63
2.4. Методика випробувань ЗІЗОД в умовах виробництва	69
2.4.1 Опис об'єктів виробничих випробувань.....	70
2.4.2 Перелік технічної документації, яка повинна бути надана на виробничі випробування.....	70
2.4.3 Порядок проведення виробничих випробувань.....	71
2.4.3.1 Підготовка до проведення виробничих випробувань.....	71
2.4.3.2. Контроль безпеки об'єктів виробничих випробувань.....	72
2.4.4 Регламент проведення виробничих випробувань.....	72

2.4.5 Обробка та аналіз результатів виробничих випробувань.....	73
2.5. Методика визначення коефіцієнта проникання фільтрувальних матеріалів за тест-аерозолем парафінової оливи.....	73
2.6. Методика перевірки механічної міцності ЗІЗОД.....	77
2.7. Особливості підбору випробувачів для проведення перевірки захисних і експлуатаційних властивостей фільтрувальних респіраторів.....	78
Висновки до розділу 2	81
Література до розділу 2	82
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ПРОТИПИЛОВИХ ТА ПРОТИГАЗОВИХ ПІВМАСОК З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ	85
3.1 Теоретичні засади конструювання фільтрувальних респіраторів	85
3.2. Розробка алгоритму виготовлення наголів'я з урахуванням даних 3D-моделей голів користувачів	104
3.3. Розробка конструкції фільтрувального протипилового респіатора....	111
Висновки до розділу 3	117
Література до розділу 3	119
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ІМПРЕГНОВАНОГО ВОЛОКНИСТОГО ХЕМОСОРБЕНТУ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НОРМОВАНІ ВИМОГИ ДЛЯ ПРОТИГАЗОВИХ ФІЛЬТРІВ КЛАСУ К1 (АМІАК) РЕСПІРАТОРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	125
Висновки до розділу 4	134
Література до розділу 4	135
РОЗДІЛ 5. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ	137
5.1. Перевірка щільності прилягання до обличчя респіраторів розробленої конструкції.....	137
5.2. Визначення коефіцієнту захисту експериментальних зразків у лабораторних умовах	138

5.3. Перевірка ергономічних властивостей розробленого респіратора.....	142
5.4. Рекомендації щодо підвищення захисту працівників при використанні фільтрувальних респіраторів.....	148
Висновки до розділу 5	151
Література до розділу 5	152
ВИСНОВКИ.....	155
ДОДАТКИ	158
Додаток А	158
Додаток Б	167

Терміни і визначення

Засіб індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) – пристрій, призначений для захисту органів дихання людини від дії токсичних аеродисперсних частинок різного походження (пил, дим, туман) або/і газо(паро)подібних сполук.

Фільтрувальні респіратори – ЗІЗОД, що використовуються лише при вмісті кисню в оточуючому повітрі $\leq 17\%$ (за об'ємом) та за умови вмісту відомих шкідливих газоподібних домішок < 15 ГДК. Застосування фільтрувальних ЗІЗОД заборонено у важкодоступних не провітрюваних об'єктах малого об'єму (цистерни, колодязі, трубопроводи, печі тощо).

Гранично допустима концентрація (ГДК) – концентрація токсичної речовини у вигляді аеродисперсних частинок, газів і парів, від дії яких на людину при щоденній роботі впродовж 8 год. або при іншій тривалості, але не більш 41 год. на тиждень впродовж робочого стажу, не виникають захворювання або патологічні відхилення у стані здоров'я, що виявляються сучасними методами досліджень у процесі роботи або у віддалені строки життя сьогоденішнього та наступних поколінь.

Аерозоль – колоїдна система, дисперсна фаза котрої складається з аеродисперсних частинок різного походження і агрегатного стану (пил, дим, туман), а газова фаза (дисперсійне середовище) – атмосферне повітря або/і газоподібні токсиканти різної хімічної природи.

Півмаска – складова частина (конструкційний елемент) респіратора, до якої(го) приєднуються інші його функціональні частини (конструкційні елементи).

Фільтрувальна півмаска респіратора – півмаска, що повністю або частково виконана з використанням фільтрувального матеріалу. Респіратори, фільтрувальні півмаски яких не змінюються після використання, – одноразові респіратори маркуються літерами FF, респіратори зі змінними півмасками – літерами FM.

Повітронепроникна півмаска – змінна складова частина респіратору, призначення якої – щільне прилягання до обличчя по смузі обтюрації – мінімізація надходження забрудненого повітря у порожнини рота і носа. Споряджається змінним(и) фільтром(ами) відповідного функціонального призначення.

Шкідливий простір півмаски – об’єм підмаскового простору, де залишається частина діоксиду вуглецю, що видихається.

Фільтр (фільтрувальний елемент) протипиловий або протигазовий, або газопилозахисний – пристрій, призначений для вилучення із вдихуваного повітря токсичних аеродисперсних частинок або/і газів та парів, відповідно.

Вузол клапану видиху – устрій з вмонтованим одностороннім клапаном, крізь який видихуване повітря надходить назовні півмаски.

Опір диханню – опір потоку повітря респіратором або його складовими (фільтром(ами), клапанами вдиху і видиху) під час вдихання (опір вдиху) або видихання (опір видиху) повітря. Одиниці виміру опору – Па або мбар (1 мбар = 100 Па).

Коефіцієнт підсмоктування по смузі обтюрації – відношення кількості атмосферного повітря, що надходить крізь щілини між обличчям і обтюратором, до кількості вдихуваного повітря (розраховується у відсотках).

Коефіцієнт підсмоктування ЗІЗОД – відношення кількості повітря, що надходить при диханні у підмасковий простір крізь щілини по смузі обтюрації та вузол клапану видиху, до загальної кількості вдихуваного повітря (розраховується у відсотках).

Наголовна гарнітура (наголів’я) – конструктивний елемент респіратора, призначений для щільного, але без утворення вм’ятин, прилаштування півмаски до обличчя і утримання її на обличчі в робочому стані.

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

ВСТУП

Відповідно до ст. 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець мусить створити на робочому місці нормовані умови праці, зокрема концентрація токсичних аеродисперсних частинок (пил, дим, туман), газів і парів в повітрі робочої зони повинна бути меншою за ГДК, а у випадках, коли рівень розвитку науки і техніки не дозволяє це зробити, – забезпечити робітників ефективними засобами індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), – респіраторами відповідного функціонального призначення.

Вибір ефективних респіраторів здійснюється згідно з ДСТУ EN 529:2006 за результатами ідентифікації шкідливих речовин у повітрі робочої зони, оцінки ризиків, обґрунтування необхідності захисту органів дихання та навчання робочих навичкам їх використання, зберігання і обслуговування. Нажаль, навіть добросовісне виконання згаданої процедури не гарантує надійний захист органів дихання користувача, оскільки розробники ДСТУ EN 529:2006, формалізував стадії вибору респіраторів, навіть не згадали про те, що це можливо, якщо при цьому враховуються, по-перше, умови експлуатації і технічні характеристики респіраторів, по-друге, антропометричні особливості обличчя користувачів. Між тим, при нещільному приляганні півмаски до обличчя, завжди відбувається підсмоктування токсичних речовин – аеродисперсних частинок (АДЧ) різного походження, газів і парів – у підмасковий простір крізь наявні щілини між обличчям і обтюратором за смугою обтюратору.

Розв'язання задач щодо забезпечення нормованих умов праці посилюються ще й тим, що досі немає простих і надійних методів, а також засобів швидкої індикації щільності прилягання півмаски до обличчя і питомого тиску обтюратора на обличчя, придатних для застосування у виробничих умовах.

У зв'язку з вище викладеним, очевидно, що створення легких фільтрувальних респіраторів, зокрема півмасок до них, з урахуванням антропометричних розмірів обличчя користувачів, різних за національністю, статтю та віковою групою, а також оголів'я, що забезпечує швидке прилаштування півмасок до обличчя, щільне, комфортне та стійке їх положення на обличчі під час виконання службових обов'язків, – актуальна задача.

Зв'язок роботи з науковими планами програмами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до пріоритетних напрямків науково-дослідних робіт Фізико-хімічного інституту захисту навколишнього середовища і людини МОН України та НАН України (ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України) у відділі «Теоретичних основ розробки засобів індивідуального захисту органів дихання» в рамках держбюджетних тем «Розробка універсальних засобів індивідуального захисту пролонгованої дії подвійного призначення» (№ ДР 0117U000376, 2017-2018 рр.), «Теоретичні засади створення високоефективних сорбційно-фільтруючих матеріалів і респіраторів на їх основі» (№ ДР 0119U002103, 2019-2021 рр.) та «Наукові засади проектування і освоєння дослідного виробництва легких респіраторів подвійного призначення» (№ ДР 0122U000864, 2022-2023 рр.).

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є створення легких каркасних фільтрувальних протипилових респіраторів, що забезпечують надійний захист органів дихання від респірабельних АДЧ та аміаку, з півмасками, які щільно і рівномірно прилягають до обличчя, не утворюючи вм'ятин, а також засобів швидкої перевірки у виробничих умовах щільності прилягання обтюратора до обличчя та питомого тиску респіатора на обличчя по смузі обтюрації.

Для досягнення мети дослідження в дисертаційній роботі сформульовані та розв'язані наступні задачі:

1. Аналіз сучасних конструкцій фільтрувальних протипилових респіраторів щодо їх захисних властивостей та методів перевірки щільності і рівномірності прилягання півмасок до обличчя по смузі обтюрації;
2. Розробка методів та засобів швидкої індикації щільності прилягання півмасок до обличчя та питомого тиску півмаски на обличчя по смузі обтюрації;
3. Дослідження захисних властивостей сучасних конструкцій протипилових і протигазових респіраторів;

4. Удосконалення процесів розробки і виготовлення фільтрувальних протигазових і протипилових респіраторів на основі використання технології 3D моделювання макетів і дослідних зразків;

5. Створення імпрегнованих волокнистих хемосорбентів (ІВХС), призначені для санітарного очищення газоповітряної суміші від основних газів (зокрема NH_3);

6. Дослідження захисних і ергономічних властивостей фільтрувальних протипилових і протигазових респіраторів нового покоління із застосуванням розроблених ІВХС;

7. Розробка рекомендацій щодо покращення захисту органів дихання працівників, які користуються фільтрувальними протипиловими та протигазовими респіраторами.

Об'єкт дослідження – фільтрувальні протипилові та протигазові респіратори, призначені для індивідуального захисту органів дихання від дії респірабельних АДЧ та аміаку.

Предмет дослідження – особливості конструкцій фільтрувальних протипилових і протигазових респіраторів, що відповідають концепції універсальності та вимогам нормативних документів України щодо технічних, ергономічних і експлуатаційних характеристик, методи та засоби індикації щільності прилягання півмасок до обличчя та питомого тиску півмасок на обличчя по смузі обтюрації.

Основна ідея дисертаційної роботи полягає у забезпеченні захисту органів дихання працівників від дії АДЧ та токсичних основних газів шляхом розробки і впровадження універсальної конструкції фільтрувального протипилового і протигазового респіраторів з використанням спеціальних хемосорбентів, півмаска котрого придатна для використання працівниками з антропометричними особливостями обличчя, тобто стійко і щільно прилягає до обличчя по смузі обтюрації підчас експлуатації респіраторів, а також засобів індикації щільного і рівномірного прилягання обтюратора до обличчя без утворення вм'ятин.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційної роботи застосовано: системно-структурний аналіз змісту наукових праць, нормативно-правових актів щодо охорони праці та державних стандартів, присвячених застосуванню ЗІЗОД; статичний підхід при дослідженні термографічних зображень за допомогою вбудованих функцій в математичному середовищі MATLAB із застосуванням інтегративного алгоритму найближчих точок – (метод ІСР); використане рівняння вільної енергії вигнутої довільної пластинки, що описується двовимірною сплайн-поверхнею, для побудови поверхні півмаски, невідомі коефіцієнти котрої встановлюються методом лінійної інтерполяції на основі даних тривимірних координат ключових точок антропометричних рис облич; захисні характеристики розроблених ІВХС щодо NH_3 досліджувались в динамічних умовах.

Наукові результати:

удосконалено:

– методичні підходи до оцінювання причин погіршення ефективності фільтрувальних протипилових і протигазових півмасок при їх експлуатації на виробництві, за рахунок запровадження новітніх способів перевірки щільності прилягання півмасок, визначення раціональної кількості випробувань та статистичної обробки для зменшення невизначеності вимірювання;

– науково-методичний інструментарій для швидкої оцінки щільності прилягання півмаски до обличчя з використанням термографування поверхні обтюратора з урахуванням сили натягу наголів'я, що дозволяє попередньо визначити коефіцієнт захисту ЗІЗОД;

– концептуальні підходи до розробки та проектування нових конструкцій фільтрувальних півмасок на основі чотирьох кроків: аналіз умов праці; обробка антропометричних розмірів; проектування 3D-моделей півмасок; лабораторна перевірка захисних властивостей готового зразку, що відрізняється від відомих наявністю механізму побудови декількох 3D-моделей голови, які забезпечують допустиму щільність прилягання півмаски для 95 % потенційних користувачів;

– організаційний механізм контролю за захисною ефективністю півмасок під час її експлуатації за інтенсивністю теплового випромінювання поверхні у інфрачервоному діапазоні та відображення теплового поля поверхні обтюратора на дисплеї тепловізору у вигляді кольорової картинки;

набув подальшого розвитку:

– підхід до побудови цифрової моделі голови з одержанням тривимірних координат ключових точок за якими розраховуються параметри функції, що описує поверхню півмаски та швидкого визначення коефіцієнту захисту з проектованої півмаски шляхом поєднання цифрових зображень обличчя і респіратору.

Практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що її теоретичні й методичні положення дозволили розробити алгоритм створення нового фільтрувального респіратору із застосуванням ІВХС, який ґрунтується на узагальнені (систематизації) комплексу послідовних дій, що дозволять звести характеристики конкретних елементів: цифрової моделі голови, поверхні півмаски і обтюратора зі змінною геометрією обтюратора побудованих на основі антропометричних характеристик працівників різного віку, національності та статі, вискоєфективних іонообмінних волокнистих фільтрувальних матеріалів для захисту від аміаку, індикаторів для контролю нормованого питомого тиску півмаски на обличчя за смугою обтюратора, поверхні прилягання півмаски до обличчя єдине ціле для забезпечення максимального коефіцієнта захисту працівників на різних промислових виробництвах. Запропоновано склади водних розчинів з використанням лимонної кислоти для отримання ІВХС NH_3 ; ІВХС NH_3 з індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності (ІВХС-І).

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

Впровадження результатів роботи. Розроблено, досліджено і впроваджено у випробувальній лабораторії Українського випробувального центру ЗІЗОД, підпорядкованому ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України, типоряд

легких респіраторів зі зміною геометрією обтюратора, що комфортно, стійко і щільно прилягають до обличчя, не створюючи вм'ятин, а також швидкі методи та засоби індикації щільності прилягання півмасок до обличчя та питомого тиску півмаски на обличчя по смузі обтюраторів.

Розроблено відповідно до ДСТУ EN 529:2006 і впроваджено на вугільних шахтах ПрАТ ДЕТК «Павлоградвугілля» рекомендації щодо вибору респіраторів з урахуванням ризиків виникнення професійних захворювань унаслідок їх використання.

Результати розробки і впровадження згаданих легких протипилових та протигазових респіраторів та засобів швидкої перевірки їх придатності для використання у виробничих умовах використано при підготовці підручника «Проектування засобів колективного та індивідуального захисту працюючих», призначеного для студентів вищих навчальних закладів, зокрема кафедри аерології та охорони праці НТУ «Дніпровська політехніка», а також при виконанні студентами кваліфікаційних робіт за другим рівнем вищої освіти (магістерських) дипломних робіт.

Обґрунтування і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено завдяки коректній постановці дослідження, вирішення задач з використанням сучасного обладнання і достовірних експериментальних даних, застосуванню апробованого математичного апарату, а також підтверджено збігом результатів теоретичних і експериментальних досліджень з невизначеністю вимірювань $\leq 15\%$, досвідом експлуатації розроблених респіраторів і засобів індикації їх ефективності та надійності.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною науковою роботою: усі наукові положення, висновки та рекомендації, які висловлено автором та винесено на захист, отримано, узагальнено і оформлено здобувачем самостійно. Його внесок в опубліковані у співавторстві роботи [1-15] полягає у наступному:

- проаналізовано конструкції респіраторів та методів дослідження і визначено вплив різних факторів на захисні та ергономічні властивості розроблених респіраторів нового покоління [1, 6, 9];

- запропоновано нову конструкцію півмаски та проведено аналіз перевірки захисної ефективності респіраторів та їх взаємопов'язаних елементів [2, 11-15];

- встановлено закономірності процесу проходження повітряного потоку крізь пористий фільтрувальний матеріал і перепаду тиску на фільтрах респіратора в умовах зміни швидкості фільтрування повітря – об'єму і частоти дихання людини, а також параметрів фільтру [5, 8];

- розроблено рекомендації щодо вибору фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання з урахуванням кінцевого терміну захисної дії через утруднення дихання [7, 10];

- розроблено імпортозамінюючі ІВХС забезпечують нормовані вимоги для протигазових фільтрів класу К1 (аміак) при вологості вдихуваного повітря $\geq 30\%$ [3, 4].

Апробація результатів роботи. Основні положення за результатами дисертаційної роботи доповідалися на наукових семінарах ФХІЗНСІЛ, м. Одеса, 2019-2022 рр.; V, VI Міжнародних науково-практичних конференціях «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика» (Херсон, 2018, 2019), II Міжнародній науково-практичній конференції «Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи» (Київ, 2019).

Публікації. Усього за результатами дисертаційних досліджень опубліковано 15 наукових праць (у міжнародних журналах з високим індексом цитування – 2, фахових журналах – 4 і тезах наукових конференцій – 4), а також одержано 4 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (121) та двох додатків (А, Б). Загальний обсяг дисертації – (122) 142 сторінки, у тому числі 66 рисунків та 43 таблиць.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз конструкції сучасних фільтрувальних протипилових та протигазових респіраторів та їх конструктивних елементів

Фільтрувальні ЗІЗОД відповідного типу і класу повинні забезпечувати очищення вдихуваного повітря від шкідливих сполук до концентрації, яка не перевищує гранично допустиму (ГДК). Принцип захисту у них базується на обов'язковій ізоляції органів дихання від навколишнього середовища, використанні матеріалів, які забезпечують очищення повітря від аеродисперсних частинок різного походження (пил, дим, туман). В табл. 1.1 надані приклади технічних рішень, реалізація яких необхідна для забезпечення відповідності фільтрувальних ЗІЗОД вимогам НД [1].

Таблиця 1.1 – Приклади технічних рішень для забезпечення відповідності фільтрувальних ЗІЗОД вимогам НД

Шкідливі фактори	Конструктивні елементи фільтрувальних ЗІЗОД, які забезпечують захист від шкідливих факторів і відповідність вимогам НД	Принцип дії	Матеріали	Контрольні показники
Аеродисперсні частинки різного походження (пил, дим, туман)	<ul style="list-style-type: none"> - обтюратори різних конструкцій - фільтрувальні елементи - вузли клапанів вдиху і видиху - елементи фіксації 	<ul style="list-style-type: none"> - ізоляція підмаскового простору - фільтрація, у тому числі по смузі обтюраторії, герметичність за рахунок щільного прилягання пелюстка клапана видиху або вдиху до сидловини 	<ul style="list-style-type: none"> - фільтрувальні матеріали - допоміжні матеріали 	<ul style="list-style-type: none"> Коефіцієнт підсосу повітря: - через смугу обтюраторії - через клапани вдиху і видиху. Коефіцієнт проникання фільтра. Стійкість до запилення

Як видно з табл. 1.1, на захисні та ергономічні властивості і надійність ЗІЗОД впливають особливості конструктивних елементів та властивості основних і допоміжних матеріалів.

Фільтрувальні ЗІЗОД, як відомо, складаються з пристрою, який є, власне, фільтром, що забезпечує очищення вдихуваного повітря, яке потрапляє до органів дихання.

Щільноприлягаючі лицеві частини можуть бути виконані у вигляді чвертьмаски, яка закриває рот і ніс, або півмаски, що ізолює ніс, рот і підборіддя. Вони характеризуються наявністю смуги обтюрації, яка як і лицева частина може бути виготовлена з фільтруючого матеріалу.

Важливим конструктивним елементом фільтрувального ЗІЗОД є фільтрувальні елементи. Вони можуть утворювати лицеву частину або розташовуватися поверх каркасів.

На рис. 1.1 в якості прикладу приведено один з можливих варіантів протипилового респіратора, де 1 – корпус лицевої частини, 2 – обтюратор, 3 – притискна пластина, 4 – клапан видиху, 5 – наголів'я [2].

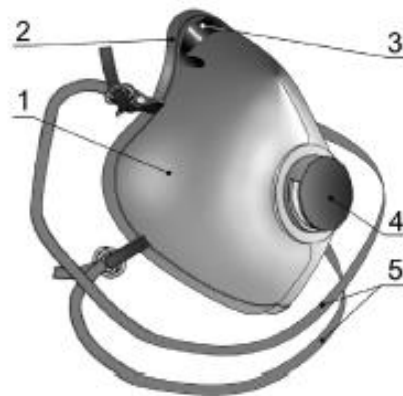


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд протипилового респіратора, спорядженого клапаном видиху.

Корпус лицевої частини протипилового та протигазового респіраторів як правило виготовляється з трьох шарів спеціальних матеріалів:

- зовнішній шар – з нетканих матеріалів порівняно невисокої щільності, виготовлених з лавсанових, поліамідних, поліпропіленових та інших волокон, – забезпечує захист фільтрувального шару від механічних пошкоджень і забезпечує

стійкість до деформації, а також виконує роль форфільтра, який спроможний працювати у режимі об'ємної фільтрації аеродисперсних частинок з утворенням автофільтруючого шару пилу з метою забезпечення пролонгації часу використання;

- другий шар, виготовлений з фільтрувального матеріалу, визначає захисні властивості і фактично визначає клас респіратора;

- третій шар, що утворює внутрішню поверхню півмаски, – санітарно-гігієнічного призначення – має бути максимально приємним на дотик, не подразнювати шкіру і не викликати алергічні реакції шкіри.

Сучасні протиаерозольні респіратори відповідно до конструкції корпусу лицевої частини можна поділити на [3]:

- респіратори з відносно великою площею фільтрації (рис. 1.2 *а, б*), що забезпечує зменшення початкового опору диханню та збільшення терміну використання респіратора;

- плоска (рис. 1.2 *а*)

- формовані (рис. 1.2 *б*);

- каркасні (рис. 1.2 *в*), у складі котрих є деталі (вузли) багаторазового використання та змінні фільтри.

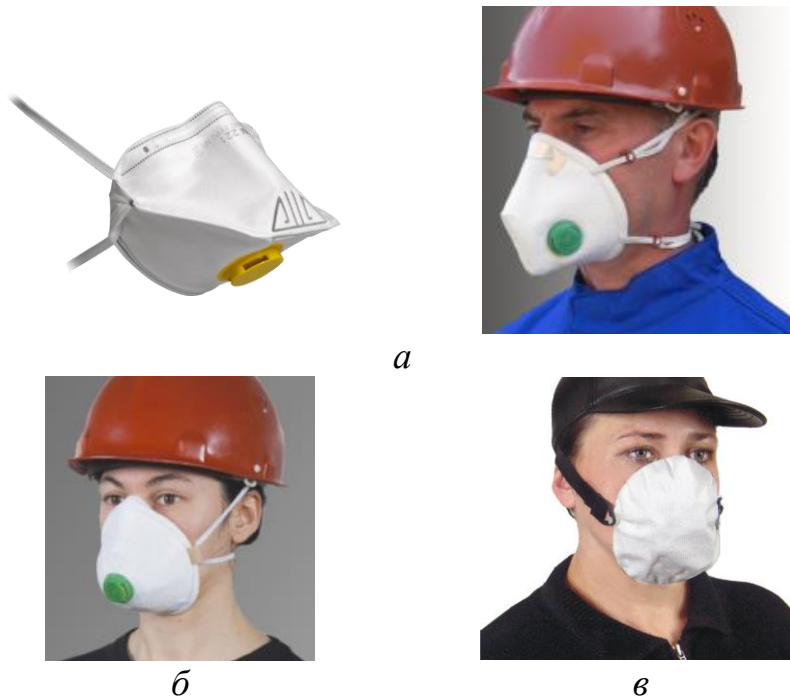


Рисунок 1.2 – Приклади сучасних протиаерозольних респіраторів відповідно до конструкції: *а* – плоска конструкція корпусу лицевої частини; *б* – формований корпус лицевої частини; *в* – каркасна конструкція.

Ізолювання органів дихання від навколишнього середовища у ЗІЗОД визначається смугою прилягання корпусу лицевої частини до обличчя, яка являє собою замкнений контур, що проходить через перенісся, щоки та підборіддя.

У справному і правильно підібраному ЗІЗОД знаходження нефільтрованого повітря у підмасковий простір можливо тільки по смугі обтюрації і через нещільності клапанів видиху на фазі вдиху. Таке надходження аерозолів в підмасковий простір не викликано підсмоктуванням, рушійною силою якого є розрідження, створене при вдиху.

Розрідження дорівнює різниці атмосферного тиску і тиску і підмасковому просторі на фазі вдиху [4]:

$$P_{\text{атм}} - P_{\text{під}} = \mu \cdot \nu \cdot (R_{\text{к}} + R_{\text{кл}} + R_0) \quad (1.1)$$

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; μ – динамічна в'язкість повітря, Па; ν – 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), який зростає, наприклад, при збільшенні фізичного навантаження.

Підсмоктування також залежить від нещільностей за як смугою обтюрації, так і клапанів видиху та їх інерційності. Для оцінки рівня ізоляційних властивостей використовують коефіцієнт ізолювання (КІ) під лицеvu частину, який дорівнює відношенню концентрації парів (газів) і аерозолів, що надійшли у підмасковий простір за смугою обтюрації і клапанів видиху, до концентрації 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 [5]:

$$C_i = C_0 (Q_{\text{ф}} K_{\text{П}} + Q_{\text{Пс}} K_{\text{Пс}}) t \quad (1.2)$$

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 [6]:

$$K_3 = \frac{C_0}{C_i} = \frac{\left[1 + \frac{Q_{\text{Пс}}}{Q_{\phi}}\right]}{K_{\text{П}} + \frac{Q_{\text{Пс}}}{Q_{\phi}} K_{\text{Пс}}} \quad (1.3)$$

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

$$K_i = \frac{\left[1 + \frac{Q_{\text{Пс}}}{Q_0}\right]}{K_{\text{Пс}}} \quad (1.4)$$

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 фільтра ламінарний, тому витрата повітря залежить від перепаду тиску лінійно:

$$Q_{\phi} = k_{\phi} \Delta p \quad (1.5)$$

де Δp – перепад тиску на фільтрі, Па; K_{ϕ} – 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:

$$Q_{\text{Пс}} = k_{\text{Пс}} (\Delta p_1 - \Delta p) \quad (1.6)$$

де Δp_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:

$$K_{\text{щ}} = \frac{Q_{\text{Пс}}}{Q_{\phi}} = \frac{(\Delta p_1 - \Delta p) k_p}{\Delta p} \quad (1.7)$$

де $k_p = k_{\phi}/k_{\text{Пс}}$.

Загалом, витрату через зазори можна визначити за формулою [7]:

$$Q_B = k_B (\Delta p)^a (d_B)^b \quad (1.8)$$

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

Аналіз вищенаведених формул для визначення коефіцієнта ізолювання показує, що до основних шляхів зменшення підсмоктування можна віднести:

- збільшення опору обтюратора за рахунок розширення смуги обтюраторії, рівномірного розподілу притискних зусиль, підвищення еластичності матеріалу обтюратора;
- зменшення інерційності клапана видиху за рахунок зміни його конструкції підбору відповідного розміру та матеріалу;
- використанням смуги обтюраторії у вигляді двох контурів, яка б враховувала особливості антропометричної будови обличчя;
- зменшення опору фільтрів за рахунок зміни конструкції фільтра і підбора відповідних фільтрувальних матеріалів.

Для визначення коефіцієнта ізолювання півмасок можна скористатися експериментальною перевіркою величини підсмоктування забрудненого повітря, яка описана у відповідних стандартах. Для цього використовують спеціальні аерозолі хлориду натрію, масляного туману (СМТ) 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.

На рис. 1.3 схематично показані інтервали значень коефіцієнта підсмоктування лицевих частин, які можна оцінити різними методами випробування. На вісі абсцис використана так звана логарифмічна шкала [8].

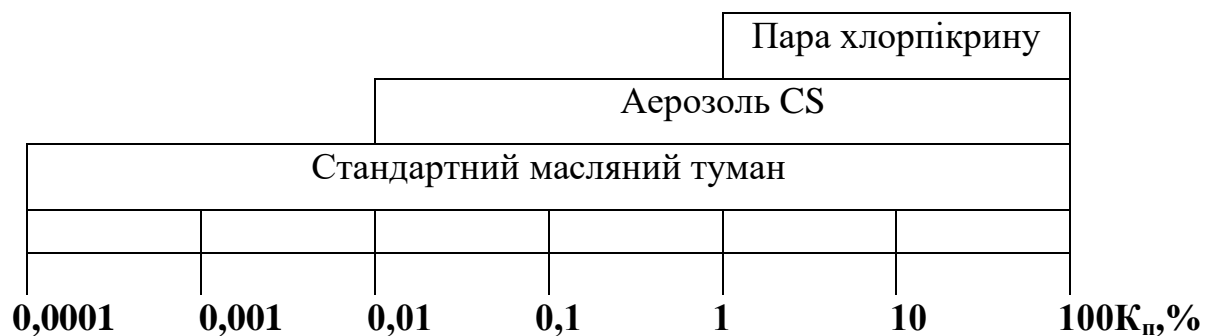


Рисунок 1.3 – Інтервали значень коефіцієнта підсмоктування лицевих частин.

Корпуси лицевих частин в більшості споряджені вузлами клапанів вдиху і видиху. Їх кількість залежить від конструкції виробу. Функціональне призначення клапанних систем – зменшення об'єму шкідливого простору лицевої частини. Ефективність функціонування клапанних вузлів регламентується величиною опору відповідно до НД. Однією з обов'язкових вимог до конструкції клапанних систем є наявність захисного екрана, який захищає пелюсток клапана від механічних пошкоджень, а додатковий об'єм вдихуваного повітря, який утворюється між сідловиною та екраном, сприяє зменшенню підсосу повітря при черговому вдиху.

Більш складний варіант конструкції клапанної системи «вдих-видих» представлений у респіраторі У-2К. Завдяки наявності повітронепроникної плівки виконується розподіл потоків повітря, що вдихається та видихається.

Найбільш поширена конструкція клапанів вдиху і видиху – диск певної товщини і діаметру, який розміщується на сідловині. Основні розміри клапанів вдиху і видиху кожен виробник ЗІЗОД визначає за своїми стандартами. Однак здебільшого їх товщина коливається у діапазоні від 0,5 мм до 0,7 мм, а діаметр – від 27 мм до 32мм. Приклад вузла клапана видиху наведено на рис. 1.5, а технічні характеристики клапанів видиху різних габаритів – у табл. 1.2.



Рисунок 1.4 – Вузол клапана видиху: 1 – сідловина, 2 – захисний екран; 3 – клапан видиху.

Таблиця 1.2 – Результати досліджень клапанів видиху [9]

Діаметр клапана, мм	Площа поперечного перетину, см ²	Діаметр сідловини, мм	Опір повітряному потоку при витраті повітря 95 л/хв
26	2,84	22	143
28	3,29	24	130
30	3,97	26	60
31	4,45	27	58
33	5,06	29	58

Стійке положення респіратора на обличчі та щільне прилягання лицевої частини до обличчя по смузі обтюрації забезпечуються регулюванням довжини та натягу головного гарнітура (наголів'я) респіраторів. Відомо чимало конструкцій наголів'я та матеріалів, з використанням яких вони виготовляються (звичайна тканинна смужка, гумова смужка, округлі плескаті резинки). У складі одноразових респіраторів, частіше всього, застосовуються оголів'я з двома округлими резинками або еластомірними стрічками з різним плетінням. Важливим параметром, за яким вибирають еластомірні стрічки, є їх відносне подовження при розтягуванні із зусиллям 5 – 7 Н (діапазон щільного притискання півмаски до обличчя). На рис. 1.5 приведено приклади конструкцій, а в табл. 1.3 – технічні характеристики плескатих і округлих резинок.



Рисунок 1.5 – Конструкції плескатих і округлих резинок

Таблиця 1.3 – Відносне подовження плескатих та округлих резинок

Номер відповідно до рис. 1.5	Ширина, мм	Відносне подовження, %
Циліндрична еластична стрічка		
1	3	280
2	3	260-270
Плоска еластична стрічка		
3	5,5	320
4	4,5	300-310
5	5	210-240

Найбільш вдалою є система кріплення респіратора «Сніжок», в якому конструкція вузла клапана видиху суміщена з елементом головного гарнітура (петлі), який виконує роль пружини і зменшує тиск на голову, а наявність пряжок забезпечує можливість регулювання розміру наголів'я [10].

Приклади конструкторського втілення наголів'я з використанням бавовняних стрічок і плескатих резинок наведено на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Конструкції наголів'я: *а* – тканинна стрічка (респіратор «Лепесток»); *б* – дві гумові стрічки (респіратор «ЕОЛ»), *в* – одна плеската гумова резинка (респіратор «Сніжок»).

Притискна пластина з металу або пластику, дубльованого металом, забезпечує щільне притискання респіратора до обличчя в області перенісся (рис. 1.7). Відомі також респіратори типу «Сніжок» зі зміною геометрією смуги обтюрації (у цьому випадку забезпечується щільне прилягання до обличчя по всьому периметру смуги обтюрації без використання носового затискача).



Рисунок 1.7 – Респіратор з гумовим обтюратором і півмаскою одноразового користування фірми North (модель RTN-1).

Типові приклади притискних пластин, виготовлених з використанням алюмінію (*а*) або пластику, дубльованого металом (*б*), наведено на рис. 1.8.



а



б

Рисунок 1.8 – Приклади притискних пластин
а – притискна платина з алюмінію (респіратор «Акація» П); *б* – алюмінієва смужка (респіратор «Мікрон»).

Для забезпечення щільного прилягання респіратора до обличчя в області перенісся або за смугою обтюраторії (по внутрішній поверхні півмаски, вздовж її торця), прикріплюються смужки з еластичних пористих матеріалів (наприклад, пінополіуретану). В результаті зменшується ймовірність виникнення щілин між смугою обтюраторії і обличчям під час рухів голови, тулуба або/і розмов.

Досить цікаву конструкцію респіратора запропоновано американською фірмою North [11], щільне комфортне прилягання котрого до обличчя по смугі обтюраторії досягнуто завдяки виготовленню обтюратора з м'якої резини та надійного приєднання його до лицевої частини півмаски (рис 1.7).

Пошук рішень щодо покращення сумісності респіратора з обличчям користувачів, забезпечення щільного і комфортного прилягання півмасок до обличчя кожний виробник здійснює самостійно – розробляє, в деякому роді, універсальну півмаску (з урахуванням антропометрії різних облич). Для цього створюються 3D-моделі манекенів голови і розраховується оптимальна форма обтюратора, а збільшення терміну захисної дії респіраторів досягається за рахунок збільшення (шляхом гофрування) фільтрувальної поверхні півмасок (рис 1.9), виготовлення багатошарових півмасок з використанням фільтрувальних матеріалів з різним діаметром і щільністю упакування волокон по товщині, а також респіраторів багаторазового використання, у яких можлива заміна відпрацьованих

корпусів лицевих частин (див. рис. 1.8) або фільтрувальних елементів (респіратор «Сніжок») (див. рис. 1.6).

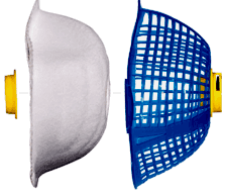








Рисунок 1.9 – Респіратор фірми MolDEX, серія 4200.

Бурхливий розвиток в останнє десятиріччя технологій виготовлення ультратонких волокон, виробництво на їх основі фільтрувальних матеріалів нового покоління та створення обладнання ультразвукового зварювання різних за своїми фізико-механічними властивостями матеріалів забезпечили прогрес в області розробки і виробництва різних за призначенням і класом протипилових респіраторів (табл. 1.4). Зокрема, пролонгованої дії, що споряджаються багатошаровими та з різним діаметром і щільністю упаковки волокон по товщині матеріалу фільтрувальними елементами, здатними працювати в режимі автофільтрації (рис. 1.9).

Зменшення вартості і збільшення часу захисної дії (див. табл. 1.4) таких протипилових респіраторів, у порівнянні зі звичайними, забезпечено шляхом виготовлення і використання форфільтрів з доступних та дешевих фільтрувальних матеріалів, пролонгації “спрацьовування” дорогих фільтрів (шарів) тонкої очистки повітря за рахунок зменшення їх пилового навантаження (табл. 1.5).

Таблиця 1.4 –Фільтрувальні протипилові респиратори, що використовуються на підприємствах різних галузей промисловості і сільського господарства України

Марка	Venitex™ 1200 SM	ЮЛІЯ-М	Сніжок-П	MOLDEX 2400	SoftSeal Masks	Исток-100 ³⁾	«Дельта»
Зображення							
Форма півмаски	чашоподібна, каркасна	чашоподібна	каркасна	чашоподібна	чашоподібна	каркасна	каркасна
Клас захисту	FFP2/ FFP3	FFP1	FFP2	N95	N95	FFP1/FFP2	FFP2
Межа концентрації аерозолів, ГДК ¹⁾)	12	4	12	5	5	4/12	12
Призначення, області застосування	Рекомендується для різних галузей промисловості та сільського господарства як універсальний засіб від всіх видів аерозолів (пил, туман, дим, смог, вірусні частки), а також газів і парів						
Особливості	Багаторазова силіконова маска з запасними фільтрами	Півмаска комплектується змінними корпусами, які замінюються при виникненні надлишкового опору при вдиху; середній термін служби півмаски – 3-х змін; обтюратор з бавовняної фланелі	Має поліетиленовий каркас в який встановлюється патрубок з клапаном видиху. Всі деталі крім фільтра можна використовувати	Структура Dura Menh захищає фільтрувальний шар від пошкоджень. Функція Activ Form дає змогу повторювати контури обличчя під час розмови. Підкладка Softspun забезпечує комфорт	Завдяки технології SoftSeal, (силіконовий обтюратор респиратори) утворюють повне ущільнення навколо обличчя. Має фільтр тонкого та грубого очищення. Захисний шар від полум'я і рідини	По периметру півмаски закріплена смуга з пінополіуретану; обтюратор виконаний з двох шарів фільтруючого матеріалу	Дельтоподібну форму півмаски надають легкий каркас і манжета; зміна розміру і формування обтюратора досягається "тягуванням" за допомогою еластичного шнура
Розмір	Універсальний						
Виробник	Delta Plus, Франція	ЗАО «СЕВЗАППРОМЭ НЕРГО», РФ	ФХІЗНСІЛ	Moldex	Sierra Safety	«Исток», РФ	ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України
Атестація і сертифікація	EN 149:2001 + A1:2009	ГОСТ Р 12.4.191-99	ДСТУ EN 149-2003	NIOSH 42 CFR Part 84, Approval of Respiratory Protective	NIOSH 42 CFR Part 84, Approval of Respiratory Protective	ГОСТ Р 12.4.191-99	ТУ У 33.1-01530125-008:2002

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики протипилових респіраторів *·**

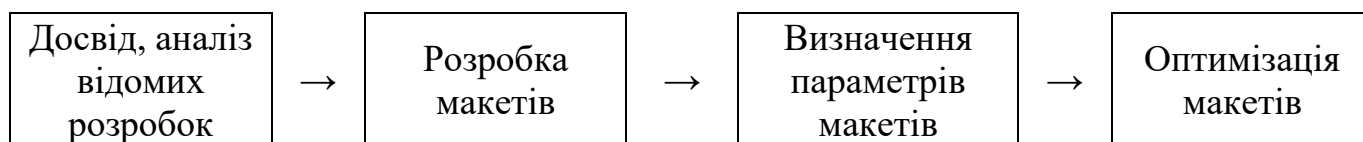
Показники	Звичайного	З форфільтром
Початковий перепад тиску, Па.	72	86
Кінцевий перепад тиску (критичний опір диханню), Па	500	
Пиломісткість, г	3,2	7,7
Час захисної дії (досягнення критичного опору диханню), хв	68	164

*– концентрація пилу у випробувальній камері – 500 мг/м³;

**– витрата повітря – 95 дм³/хв.

Отже, захист органів дихання від аерозолів базується, насамперед, на їх ізоляції від забрудненого повітря навколишнього середовища, використанні ефективних фільтрувальних матеріалів та комплектації респіратора лицевою частиною, яка максимально суміщається з обличчям користувача.

Процес конструювання елементів ЗІЗОД на стадії макета може бути представлений схемою.



Наведений підхід до розробки респіраторів – довготривалий процес, наслідком котрого може стати ситуація, коли спроектований респіратор вже не відповідає умовам, що швидко змінюються. Очевидно тому відомі зарубіжні компанії при проектуванні респіраторів використовують інформаційні технології – здійснюють розробку нових ЗІЗОД за наступним алгоритмом [12]:

- дослідження антропометричних розмірів облич користувачів з використанням 3D - сканування;
- побудова цифрових моделей голови користувачів декількох типорозмірів з визначеними координатами ключових параметрів, за якими будується поверхня півмасок (ширина і довжина обличчя, висота носа, довжина губ);
- побудова 3D-поверхні півмаски за допомогою NURBS-поверхонь, B-сплайнів або іншого цифрового інструментарію і відповідного програмного забезпечення;
- уніфікація конструкцій за функціональним призначенням, схожими антропометричними та іншими даними;

- вибір фільтрувальних матеріалів відповідно до класу і умов експлуатації респіратора;
- розробка проєктно-конструкторської документації.

Зважаючи на те, що з кожним роком підвищуються вимоги до захисту працівників, а також на конкурентну боротьбу між ведучими виробниками ЗІЗОД за ринки збуту, даний алгоритм необхідно постійно модернізувати і удосконалювати з метою скорочення часу розробки, виготовлення та впровадження нових розробок.

1.2 Показники якості фільтрувальних ЗІЗОД

Основним показником ефективності використання фільтрувальних ЗІЗОД є ймовірність захисту людини [13]:

$$P_3(t) = P_n \cdot P_o \cdot P_k \quad (1.9)$$

де P_n – наявність ЗІЗОД у користувачів; P_o – ймовірність безвідмовної роботи; P_k – ймовірність забезпечення користувача ЗІЗОД належного типу і класу захисту, яка визначається за формулою [14]:

$$P_k(t) = P_{fk} \cdot P_m \cdot P_b \quad (1.10)$$

де P_{fk} – ймовірність проникання шкідливої речовини крізь фільтрувальну поверхню півмаски; P_m – ймовірність проникнення шкідливої речовини з урахуванням підсосу по смузі обтюратору; P_b – ймовірність своєчасного і у відповідності з Інструкцією з експлуатації використання ЗІЗОД.

З вищенаведених формул видно, що показник ефективності використання респіратора носить ймовірнісний характер, тому що визначення конкретних показників базується на прогнозах як основному шляху оцінки стану повітря робочої зони. Під прогнозуванням розуміється отримання за допомогою розрахунків інформації про можливі ризики для здоров'я людини, що пов'язані з виробництвом [15], наприклад, небезпеки, можливої частоти її виникнення та а серйозності наслідків:

$$R(t) = S \cdot E \cdot P (1 - P_3(t)) \quad (1.11)$$

Оцінка якості ЗІЗОД може бути виконана за показниками, які характеризують його як технічну систему в цілому, а також за показниками, які визначають вплив окремих його складових частин, визначених у [16].

Визначення терміну «комплексний показник якості виробу», якій характеризує сумарний корисний ефект від його використання, надано в [16], де за наведеним визначенням, комплексним коефіцієнтом захисту ЗІЗОД можна назвати номінальний коефіцієнт захисту (НКЗ), який розраховується виходячи з середньої величини коефіцієнта захисту ЗІЗОД на робочому місці за формулою:

$$\text{НКЗ} = \text{КЗРМ}_{\text{ср}} / \sigma^z,$$

де $\text{КЗРМ}_{\text{ср}}$ – середнє геометричне значення коефіцієнту захисту на робочому місці; σ – стандартне геометричне відхилення; z – коефіцієнт, що залежить від заданого довірчого інтервалу.

Зокрема, належний вибір ЗІЗОД відбувається при виконанні наступної умови

$$\text{НКЗ} > \text{Кзб}$$

де $\text{Кзб} = C_3/\text{ГДК}$ – коефіцієнт забруднення робочої зони; C_3 – концентрація аерозолів у повітрі робочої зони; ГДК – середня за часом концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони.

Однак різноманіття антропометричних характеристик обличч і невідповідність конфігурації смуги обтюрації конкретному обличчю призводять до того, що навіть при правильному виборі якісного ЗІЗОД ефективність від його використання залежить тільки від просочування нефільтрованого повітря через зазори між лицевою частиною півмаски і обличчям. На виникнення зазорів впливають недосконалість конструкції наголів'я, яка є причиною сповзання півмаски під час роботи з виникненням подальшої необхідності збільшення тиску на м'які тканини обличчя, що може викликати відчуття дискомфорту або болю по смугі обтюрації. На зниження ефективності від використання ЗІЗОД в значній мірі впливає знімання його під час використання. Збільшення надходження нефільтрованого повітря в підмасковий простір крізь зазори також має місце при підвищенні фізичного навантаження, вологості і концентрації аерозолів в повітрі робочої зони, що наочно демонструє рис. 1.10.

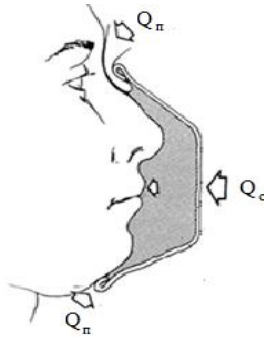


Рисунок 1.10 – Схема повітряних потоків через півмаску ЗІЗОД під час процесу вдихання: Q_0 , Q_n , – витрата повітря через ЗІЗОД, щілини за смугою обтюратору відповідно.

Спробуємо визначити вплив величини зазору на показник номінального коефіцієнта захисту, який зазвичай розраховується виходячи з експериментально встановлених у випробувальній лабораторії концентрацій тест-аерозолю за межами півмаски (C_3 , мг/м³) і у підмасковому просторі (C_n , мг/м³) [17]:

$$K_3 = \frac{C_3}{C_n} \quad (1.12)$$

Кількість аерозолю, який потрапить у підмасковий простір залежить від коефіцієнта проникнення через фільтрувальну поверхню півмаски η_f та коефіцієнта підсмоктування через щілини за смугою обтюратору η_n . Тоді з урахуванням кількості повітря, яке пройде через фільтрувальну поверхню півмаски Q_f та щілин під смугою обтюратору Q_n , можна визначити концентрацію тест-аерозолю у підмасковому просторі за формулою [17]:

$$C_n = \frac{C_3(Q_f\eta_f + Q_n\eta_n)}{Q_f + Q_n} \quad (1.13)$$

Звідси номінальний коефіцієнт захисту фільтрувального ЗІЗОД дорівнюватиме:

$$\text{НКЗ} = \frac{1 + K_i}{\eta_f + K_i\eta_n} \quad (1.14)$$

де $K_i = Q_n/Q_f$ – коефіцієнт щільності прилягання півмаски до обличчя користувача за смугою обтюратору

Витрату повітря через фільтрувальну поверхню півмаски можна визначити:

$$Q_f = \Delta p_f / R_f, \quad (1.15)$$

де R_f – аеродинамічний опір фільтрувального матеріалу, Н·с/м⁵; Δp_f – перепад тиску на фільтрувальній півмасці, Па.

Підсмоктування повітря через щілини можна також розрахувати за формулою:

$$Q_n = Q_o - Q_f = \frac{\Delta p_r}{R_r} - \frac{\Delta p_f}{R_f}. \quad (1.16)$$

де Q_o – загальна витрата повітря через фільтрувальний ЗІЗОД, м³/с; Δp_r – перепад тиску на півмасці фільтрувального ЗІЗОД, Па; R_r – аеродинамічний опір фільтрувального шару півмаски.

З урахуванням формул (1.15) і (1.16) можна розрахувати коефіцієнт щільності прилягання фільтрувальної півмаски до обличчя користувача за формулою (1.17):

$$K_i = \frac{\Delta p_r R_f}{\Delta p_f R_r} - 1 \quad (1.17)$$

Аналіз отриманого виразу показує, що при відсутності щілин коефіцієнт щільності прилягання фільтрувальної півмаски дорівнює нулю. В іншому випадку чим більша різниця між перепадами тиску на фільтрувальній поверхні півмаски (визначається без урахування підсмоктувань через щілини) і фільтрувальній півмаски загалом (визначається на манекені голови з урахуванням наявності можливих щілин за обтюратором), тим гірший коефіцієнт щільності прилягання. Зрозуміло, що зростання перепаду тиску саме на фільтрувальній поверхні півмаски через накопичення пилового осаду чи вологи призведе за інших однакових умов також до погіршення коефіцієнта щільності прилягання, а отже і до зменшення захисних властивостей фільтрувальної півмаски в цілому.

Умовою щільного прилягання фільтрувальної півмаски до обличчя по смузі обтюрації є однаковість перепаду тиску на ній, після правильної підгонки її до обличчя користувача до перепаду тиску на фільтрувальній поверхні півмаски при заданій витраті повітря (30 дм³/хв чи 95 дм³/хв):

$$\Delta p_r = \Delta p_f$$

у такому разі коефіцієнт щільності прилягання півмаски буде дорівнювати нулю.

У разі підсмоктування повітря буде виконуватись наступна умова

$$\Delta p_r < \Delta p_f,$$

тобто перепад тиску на фільтрувальній півмасці буде менший, за рахунок утворення додаткових зазорів між за смугою обтюрації, які призведуть до падіння загального

перепаду тиску по відношенню до перепаду тиску фільтрувальної поверхні півмаски без урахування наявності цих зазорів. Величину опору повітряному потоку фільтрувальної поверхні півмаски можна встановити у результаті експерименту, коли півмаску розміщують на манекені голови з ретельно перекритими зазорами по смугі обтюрації. Тоді перепад тиску при заданій витраті повітря можна зафіксувати за допомогою мікроманометра. В той же час на величину опору повітряному потоку в цілому фільтрувальної півмаски в цілому з урахуванням наявності зазорів буде впливати значення притискних зусиль наголів'я. Чим воно більше, тим важче буде потрапити повітря у підмасковий простір в обхід фільтрувальної поверхні. Однак сила натягу стрічок наголів'я обмежується фізіологічною межею витривалості людини і знаходиться у межах 4 – 6 Н. Її збільшення призводить до появи больового відчуття на обличчі через здавлювання м'яких тканин. Тому під час експериментальних досліджень саме за вказаною величиною притискних зусиль і відбувається визначення перепаду тиску на фільтрувальній півмасці, яка також розміщується на манекені голови але без перекривання зазорів.

Отже, зменшення підсмоктувань можливо тільки за рахунок конструкції обтюратора, конфігурація якого забезпечить максимальне прилягання півмаски до обличчя з урахуванням його антропометричних параметрів та надійної фіксації півмаски на голові користувача завдяки рівномірному розподілу зусиль за смугою обтюрації. Останнє можливо у випадку збігання дії рівнодіючої сили натягу наголів'я з центром маси фільтрувальної півмаски.

Вищенаведене призводить до необхідності пошуку методів з визначення розмірів величин щілин за смугою обтюрації, місць їх розташування та впливу притискних зусиль. Також для забезпечення високих захисних властивостей необхідна перевірка відповідності конфігурації смуги обтюратора антропометрії обличчя. До показників, які характеризують захисні і ергономічні властивості ЗІЗОД, відносять: коефіцієнт проникання фільтра, коефіцієнт підсосу повітря, стійкість до займання, вміст діоксиду вуглецю, опір диханню, коефіцієнт проникності протиаерозольного фільтра та інші. Визначення цих показників проводиться за вимогами для півмасок типу FF за ДСТУ EN 149:2017 і ДСТУ EN

1827:2017 (табл. 1.6, 1.7) для напівмасок типу FM за стандартизованими методами випробувань [4, 18-20].

Таблиця 1.6 – Показники, що визначають властивості протиаерозольних півмасок типу FF за ДСТУ EN 149:2017

Показники захисних властивостей					Ергономічні характеристики				
Назва показника	Пункт вимог	Кількість зразків	Попередній вплив	Пункт випробування	Назва показника	Пункт вимог	Кількість зразків	Попередній вплив	Пункт випробування
Загальний коефіцієнт підсосу	7.9.1	10	п.п. –5 т.в. –5	8.5	Вміст діоксиду вуглецю	7.12	3	п.п.	8.7
Коефіцієнт проникання фільтра	7.9.2	9 для кожного аерозолю	п.п. – 3 м.н. – 3 м.м.+т.в. – 3	8.11	Площа поля зору	7.14	2	п.п.	8.4
					Випробування видиху вального клапана постійним потоком	7.15	10	п.п. –5 т.в. –5	8.2 8.5
					Опір диханню	7.16	12	п.п. – 3 т.в. –3 м.н. –3 в.п. –3	
					Стійкість до запилення	7.17	3	п.п. – 1 т.в. –2	8.10

Таблиця 1.7 – Показники, що визначають властивості напівмасок від аерозолів типу FM за ДСТУ EN 1827:2017

Показники захисних властивостей					Ергономічні характеристики				
Назва показника	Пункт вимог	Кількість зразків	Попередній вплив	Пункт випробування	Назва показника	Пункт вимог	Кількість зразків	Попередній вплив	Пункт випробування
Коефіцієнт проникності протиаерозольного фільтра	7.16	9 для кожного аерозолю	п.п. – 3 м.н. – 3 м.м.+т.в. –3	п.8.8. ДСТУ EN 13274-7	Маса	7.14			8.3
					Запилення	8.17	3	п.п. – 1 у відповідності з п.8.2.2 – 2	8.9 EN 143, EN 149
					Вміст діоксиду вуглецю в повітрі, що вдихається	7.19	3	п.п.	8.10
					Опір диханню	7.20	9	п.п. – 3 у відповідності з п.8.2.2 – 3 у відповідності з п.8.2.4 – 3	8.11
Коефіцієнт	7.21	10	п.п. – 5	8.12					

підсосу повітря			у відповідност і з п.8.2.2 – 5						
--------------------	--	--	--------------------------------------	--	--	--	--	--	--

1.3 Імпрегновані волокнисті хемосорбенти аміаку респіраторного призначення

Аміак IV класу небезпеки ($ГДК_{р.з.} = 20 \text{ мг/м}^3$ [21]) представляє велику небезпеку, яка існує на підприємствах різних галузей промисловості та прилеглих до них територій, включаючи виробництво добрив, вибухових речовин і азотної кислоти [22]. Аміак також використовується як основний газ-охолоджувач в холодильних установках. Різноманітність джерел виділення аміаку та масштаби використання холодильних установок і кількості задіяного персоналу робить видалення NH_3 з навколишнього повітря однією із найважливіших задач промислової і громадської гігієни.

Для захисту від дії бойових отруйних речовин (БОР) застосовуються коштовні ізолюючі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), котрими насамперед забезпечуються військовослужбовці і бійці спецпідрозділів, тобто такі ЗІЗ практично недоступні цивільному населенню. Доречі, застосування БОР заборонено ще в 1997 році згідно з Конвенцією про хімічну зброю, до якої приєднались майже всі держави світу [23].

Застосування ватно-марлевих пов'язок у якості ЗІЗОД від токсичних газів це анахронізм. Розвинуті країни відмовились від схожих ЗІЗОД на початку 60-х років минулого століття, оскільки їх застосування створює лише ілюзію захисту. В умовах ж надзвичайних ситуацій (НС) рівень забруднення повітря може перевищувати ГДК в десятки разів.

В роботах [24, 25] подано результати досліджень співробітників ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України, спрямованих на розробку доступних хемосорбентів основних газів (зокрема, NH_3) і ЗІЗОД на їх основі, зокрема призначені для захисту органів дихання від ОР; розглянуто питання щодо фізико-хімічних властивостей та токсикологічних характеристик аміаку.

Токсичність аміаку

Токсичні характеристики аміаку, як і будь-якої іншої сполуки, обумовлені його фізико-хімічними властивостями [26]. Аміак діє на слизові оболонки верхніх дихальних шляхів і очей. Інтоксикація аміаком відбувається у декілька стадій [27]. Спочатку порушення відбуваються у печінці. Ще до появи коми в печінці гальмуються процеси, пов'язані з енергозабезпеченням усіх тканин та клітин організму. Насамперед у печінці послаблюється глюконеогенез, потім знижується вміст кетонових тіл; у крові до 10-ї хвилини кетонові тіла ледь виявляються – виникає стан коми. Лише в цей час починають змінюватися біохімічні показники мозку. З початком судом різко зменшується вміст АТФ у мозку. Гостра інтоксикація аміаком прямо пов'язана з порушенням розподілу метаболітів у крові, печінці та мозку, зі зниженням тканинних рівнів АТФ та накопиченням лактату в тканинах, з порушенням аеробного гліколізу, тощо.

При розробці хемосорбентів аміаку для спорядження протигазових елементів (ПГЕ) респіраторного призначення поряд зі значеннями його ГДК [21] також, очевидно, необхідно враховувати інші його токсикологічні характеристики, представлені в [25].

Залежно від важкості можливих ефектів виділяють такі різновиди референтних (безпечних) концентрацій для гострих впливів: 0-а група – суб'єктивні, швидко оборотні ефекти, що включають рефлекторні реакції; 1-а – легкі, швидко оборотні шкідливі ефекти, що не змінюють звичайну активність і не вимагають застосування лікарських препаратів; 2-а – важкі ефекти, що порушують функції органів та/або утруднюють дії щодо самопорятунку та потребують медичного втручання; 3-я група за ступенем тяжкості ефектів – ефекти, що загрожують життю та здоров'ю населення [25].

При виборі ЗІЗОД користувачами, що знаходяться в умовах аварійного 30-хвилинного виробничого впливу, використовується рівень, безпосередньо небезпечний для життя та/або здоров'я (IDLH), який встановлюється Національним інститутом професійної безпеки та здоров'я (NIOSH) [29]. В умовах, коли концентрація токсиканту в забрудненні вище за IDLH, рекомендується використовувати ізолюючі ЗІЗОД з примусовою подачею очищеного повітря.

Для оцінки ризику в аварійних умовах використовуються також референтні концентрації 2-го рівня. Такі концентрації встановлені Агентством з охорони навколишнього середовища США (AEGL – рекомендований допустимий рівень гострого інгаляційного впливу), Американською асоціацією промислових гігієністів (ERPG – рекомендований рівень одногодинного впливу для планування робіт, що проводяться при аварійних ситуаціях) та Міністерством енергетики США (TEEL – прогнозовані часові межі аварійного впливу) [29, 30]. Слід зазначити, що для NH_3 значення ERPG1, AEGL1, TEEL1 та ПДК_{р.з.} (20 мг/м³) можна порівняти [25].

Очевидно, під час евакуації цивільного населення з зони хімічного ураження поряд з вище згаданими показниками токсичності (ПДК_{р.з.}) слід враховувати AEGL2 – як допустимий вміст токсиканта в підмасковому просторі.

Хемосорбенти респіраторного призначення

Найбільш поширеним сорбентом для спорядження газопоглинальних патронів респіраторів і промислових протигазів є активоване вугілля (АВ) різного походження (вугільне, деревне та кокосове) через його високу площу питомої поверхні (в діапазоні 500 – 1500 м²/г) і пористість. Якщо АВ не модифіковано хімічно активними сполуками, то воно не має високої хімічної селективності (фізична сорбція) щодо аміаку. Крім того при значній вологості і температурі повітря сорбційна здатність АВ зменшується і можлива десорбція аміакутак, як шар сорбенту продувається повітрям [31]. Для підсилення хімічної селективності щодо аміаку АВ просочують солями d-металів і сорбція відбувається за рахунок утворення комплексних сполук між катіонами вказаних металів і аміаком [32].

Альтернативою вугільним гранульованим сорбентам для спорядження газопоглинаючих патронів легких респіраторів є іонообмінні волокнисті матеріали [3, 33] або імпрегновані волокнисті хемосорбенти (ІВХС) [34], які поглинають аміак за рахунок реакцій соле- або комплексоутворення. Волокна діаметром 10-30 мкм забезпечують рівнодоступність всієї поверхні та на відміну від гранульованого АВ, газопоглинальні патрони споряджені ІВМ або ІВХС мають значно менші масу (в 3-5 разів) і опір диханню. Для отримання ІВХСосновних газів (зокрема, аміаку) здійснюють просочування волокнистих носіїв (ВН) різної природи водними

розчинами двох- та багатоосновних кислот або солей 3d-металів. Поліпшення захисних характеристик ІВХС як кислих, так і основних газів здійснюють шляхом додавання до їх складу різних модифікуючих добавок [24, 35].

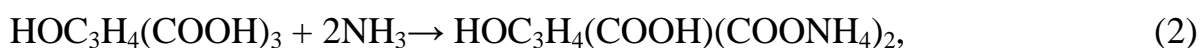
Зосередження уваги дослідників до ІВХС було викликане низкою політичних та економічних причин в нашій країні. Так, до початку восьмидесятих років минулого століття для виготовлення газопоглинаючих елементів респіраторів (ГПЕ) традиційно використовувалися іонообмінні волокнисті матеріали (ІВМ) [24, 33, 35]. Однак, зростаюча потреба в ІВМ випереджала можливості їх виробників [36], а після розпаду СРСР в Україні не залишилось підприємств з їх виробництва, що призвело до різкого подорожчання ІВМ і, відповідно, до зниження рентабельності виробництва респіраторів в нашій країні.

У зв'язку з цим співробітниками ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України було вжито заходів щодо розробки альтернативних імпортозамінюючих волокнистих хемосорбентів з доступної і недорогой сировини вітчизняного виробництва, 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 (ВН) [24, 35, 36].

В якості ВН застосовуються неткані матеріали з штучних (віскозних (В), вугільних) і синтетичних (поліамідних, поліакрилонітрильних (Н), поліестерних (Л) і поліпропіленових (ПП) тощо) волокон, санітарно-гігієнічні та фізико-механічні властивості яких відповідають вимогам, що висуваються до матеріалів респіраторного призначення [24, 35, 36].

Основними критеріями вибору імпрегнуючих реагентів були: нетоксичність і достатня розчинність у воді, відсутність запаху, виключення утворення шкідливих газоподібних продуктів реакції, стійкість продуктів реакції при кімнатній та близьких до неї температурах, доступність та відносна дешевизна [36]. Імпрегнуючими, залежно від природи газоподібних поллютантів, виступають водні розчини певних сполук, що забезпечують хімічне зв'язування поллютантів в результаті реакцій нейтралізації, окислення-відновлення і комплексоутворення [24, 36].

Для отримання ІВХС основних газів в якості імпрегнуючих реагентів використовуються водні розчини лимонної, винної, щавлевої та оксиетилендифосфонові кислот, якими відбувається поглинання аміаку і амінів за рахунок реакцій солеутворення [24, 36]. Наприклад, при використанні лимонної кислоти реалізуються такі реакції:



На користь реалізації реакцій (2) та (3) свідчать факти виділення індивідуальних цитратів [37].

Поглинання аміаку і амінів ІВХС, отриманих просочуванням ВН водними розчинами солей 3d-металів (Cu^{2+} , Ni^{2+} та Co^{2+}) відбувається за рахунок реакцій комплексоутворення. Наприклад, у випадку хлориду нікелю [36] має місце наступна реакція:



Покращення експлуатаційних властивостей розроблених ІВХС таких як достатня адгезія та рівномірний розподіл хемосорбенту на поверхні волокон було досягнуто шляхом введення у просочуючі водні розчини етанолу та багатоатомного спирту (маніту, гліцерину) [24, 36].

Потрібно відмітити, що відомі ІВХС основних газів [24, 36] не забезпечують нормовані вимоги [38] для протигазових фільтрів класу К1 (аміак), якими можна було б споряджати протигазові та газопилозахисні респіратори для захисту користувачів в умовах НС, зумовлених аварійними викидами основних газів, зокрема NH_3 .

Висновки за розділом 1. Постановка задач досліджень

Завдяки дослідженню літературних даних щодо розробки, освоєння виробництва, впровадження, експлуатації та зберігання респіраторів, висвітлено суттєві недоліки з оцінки їх якості, зокрема, потенційну їх небезпеку для

користувачів, коли ігнорується можливість проникання шкідливих аерозолів у підмасковий простір, а, точніше, необхідність законодавчо встановленої профілактики дихання шляхом використання лише респіраторів відповідного типу і класу, функціональне призначення яких відповідає умовам експлуатації, ергономічним та санітарно-гігієнічним вимогам.

Проектування респіраторів на даний час ґрунтується, переважно, на ерудиції, інтуїції та досвіді конструкторів щодо використання, баз даних про відомі аналоги. Цей досить складний процес характеризується як комплекс дій з пошуку ідей, проведення відповідних досліджень та розрахунків, спрямованих на розробку технічної документації, необхідної для створення і виготовлення виробів з заданими відповідно до ТЗ технічними характеристиками – вимогами до наступних показників: функціонального призначення фільтруючих елементів або/і респіраторів (коефіцієнт проникання, пиломісткість); ергономічності вузлів клапанів вдиху і видиху, півмаски, обтюратора, оголів'я (опір вдиху та видиху, відповідність півмаски антропометричним розмірам обличчя, вміст діоксиду вуглецю у вдихуваному повітрі, поле зору, можливість вести переговори); надійності (стабільність часу захисної дії, а також показників ергономічності протягом задекларованого терміну зберігання та експлуатації).

Досягнення заданих показників можливе лише за умови використання відповідних фільтрувальних та конструкційних матеріалів, застосування для їх переробки сучасних технологій і обладнання, здійснення контролю відповідності виробу ТЗ під час його розробки, виготовлення, зберігання та експлуатації.

Загальноприйняті підходи щодо розробки ЗІЗОД і, зокрема, респіраторів – довготривалий і дорогий процес. Очевидно, тому відомі зарубіжні компанії при проектуванні респіраторів застосовують розробку нових ЗІЗОД за наступним алгоритмом [19, 20]:

- дослідження антропометричних розмірів облич з використанням 3D сканування;

- побудова цифрових моделей голів з визначеними координатами ключових параметрів (ширина і довжина обличчя, висота носа, довжина губ), за якими будується поверхня півмасок;

- побудова 3D поверхні півмаски з використанням NURBS – поверхонь, B-сплайнів або іншого цифрового інструментарію і відповідного програмного забезпечення;

- розробка і вибір фільтрувальних та хемосорбційних матеріалів відповідно до класу і умов експлуатації респіратора;

- розробка проектно-конструкторської документації.

Застосування означених вище підходів щодо розробки респіраторів дозволить зменшити термін проектних робіт, а також витрати на виготовлення оснащення, необхідного для засвоєння виробництва, якісних виробів, але, не вирішує задач щодо вибору надійних і ефективних підчас експлуатації респіраторів, що відповідають ергономічним і санітарно-гігієнічним вимогам.

Створення подібних фільтрувальних респіраторів не тільки своєчасно, а й можливо. Для цього необхідно, на нашу думку, реалізувати кілька оригінальних ідей:

- розробити швидкий метод і відповідне обладнання, придатне для визначення щільності прилягання півмаски до обличчя в умовах виробництва;

- розробити хемосорбент, які забезпечують нормовані вимоги [38] для протигазових фільтрів класу K1 (аміак);

- розробити фільтрувальні респіратори, півмаски котрих щільно і рівномірно, але без наминів, прилягають до облич з різними антропометричними розмірами;

Викладене вище дозволило сформулювати **задачі подальшого дослідження:**

1. Проаналізувати сучасні конструкції фільтрувальних протипилових респіраторів щодо їх захисних властивостей та методів перевірки щільності і рівномірності прилягання півмасок до обличчя по смузї обтюраторії;

2. Розробити методи та засоби швидкої індикації щільності прилягання півмасок до обличчя та питомого тиску півмаски на обличчя по смузї обтюраторії;

3. Дослідити захисні властивості сучасних конструкцій протипилових і протигазових респіраторів;

4. Удосконалити процеси розробки і виготовлення фільтрувальних протигазових і протипилових респіраторів на основі використання технології 3D моделювання макетів і дослідних зразків;

5. Створити імпрегновані волокнисті хемосорбенти (ІВХС), призначені для санітарного очищення газоповітряної суміші від основних газів (зокрема NH_3);

6. Дослідити захисні і ергономічні властивості фільтрувальних протипилових і протигазових респіраторів нового покоління із застосуванням розроблених ІВХС;

7. Розробити рекомендації щодо покращення захисту органів дихання працівників, які користуються фільтрувальними протипиловими та протигазовими респіраторами.

Основні результати дослідження опубліковані у [19, 20, 24, 25]

Література за розділом 1

1. Басманов П.И., Каминский С.Л., Коробейников А.В., Трубицына М.Е. *Средства индивидуальной защиты органов дыхания: справ. рук–во*. С-Пб.: ГИПП «Искусство России», 2002. 399 с.
2. Эннан А.А., Абрамова Н.Н., Байденко В.И., Ракитская Т.Л., Хома Р.Е. *Результаты разработки средств индивидуальной защиты органов дыхания различного функционального назначения (1970-2014 гг.)*. Збірка матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2015. С. 105 – 112.
3. Эннан А.А., Асаулова Т.А. *Разработка, производство и внедрение ионообменных волокнистых материалов на основе целлюлозы и поликапроамида*. Защита окружающей среды. Здоровье. Безопасность в сварочном производстве.: сб. научн. трудов. Астропринт. Одесса, 2002. С. 394-397.
4. Эннан А.А., Байденко В.И., Захаренко Ю.С. *Импregnированные сорбционно-активные волокнистые материалы*. Защита окружающей среды. Здоровье.

- Безопасность в сварочном производстве.: сб.научн.трудов. Астропринт. Одесса, 2002. С. 394-397.
5. Эннан А.А., Роговин З.А., Ганш А.И. *Улучшение условий труда в производстве суперфосфата*. Охрана труда и техника безопасности. Очистка сточных вод и отходящих газов в химической промышленности. М.: НИИТЭХим. 1974. № 11. С. 46-48.
 6. Эннан А.А., Роговин З.А., Ганш А.И., Блиндер В.Э., Лишевская М.О., Михайленко Г.Г. *Способы очистки воздуха в цехах суперфосфатных производств*. Химическая промышленность. 1975. № 11. С. 846-848.
 7. Патент України на корисну модель UA113669, МПК А62В 9/04. *Комплексний засіб індивідуального захисту*. Эннан А.А.-А., Сахаров О.В., Абрамова Н.М., Чеберячко С.І. № u201607909; заявл. 18.07.2016; апубл. 10.02.2017, Бюл. № 3.
 8. Эннан А.А., Белинский Е.Е., Климова Л.В. Подсос воздуха через обтюратор респиратора с фильтрующей полумаской. *Науковий вісник НГУ*. 2006. № 10. С. 75-78.
 9. Эннан А.А., Шнейдер В.Г., Байденко В.И., Миронов Л.А. *Взаимосвязь защитной эффективности и общего давления респираторов*. Безопасность труда в промышленности. 1994. № 3, 4. С. 11–12.
 10. Васильев Е.В., Гизатуллин Ш.Ф., Спельникова М.И. *Проблема выбора и использования противогазо-аэрозольных фильтрующих полумасок*. Справочник специалиста по охране труда. 2014. № 12. С. 51–55.
 11. Кириллов В.А., Филин А.С., Чиркин А.В. *Обзор результатов производственных испытаний средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД)*. Токсикологический вестник. 2014. № 6. С. 44–49. DOI: 10.17686/sced_rusnauka_2014–1034.
 12. Hewett P., Pallay B.G., Gamble J.F. A Model for Correcting Workplace Protection Factors for Lung Deposition and Other Effects. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1993. Vol. 54, N 4. P. 142–149. DOI: 10.1080/15298669391354487.

13. Myers W.R., Allender J.R., Plummer R., Stobbe T. *Parameters that Bias the Measurement of Airborne Concentration Within a Respirator*. Am. Ind. Hygiene Association J. 1986. Vol. 47, N 2. P. 106–114. DOI: 10.1080/15298668691389423.
14. Myers W.R., Allender J.R. *Causes of in-Facepiece Sampling Bias — II. Full — Facepiece Respirators*. Ann. Occup. Hyg. 1988. Vol. 32, N 3. P. 361–372. DOI: 10.1093/annhyg/32.3.361.
15. Эннан А.А., Байденко В.И., Абрамова Н.Н. *О номенклатуре легких и патронных фильтрующих респираторов, выпускаемых ФХИЗОСиЧ МОН и НАН Украины*. Шестые Петряновские чтения к 100-летию со дня рождения (Москва, 19-21 июня 2007 г.): Тез. докл. М.: НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 2007. С. 114–116.
16. Абрамова Н.Н., Асаулова Т.А., Байденко В.И., Ракитская Т.Л., Эннан А.А. *Результаты разработки и номенклатура выпускаемых средств индивидуальной защиты органов дыхания. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сб. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2009. Т. 2. С. 111–118.*
17. Эннан А.А., Абрамова Н.Н. *Опыт разработки легких респираторов для различных возрастных групп. Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сб. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 8–9 июня 2011 г.). Минск, 2011. С. 350–351.*
18. Bollinger N.J., Schutz R.H. *NIOSH Guide to Industrial Respiratory Protection*. 1987. 305 p. URL: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/87-116/>.
19. Чеберячко С.І., Чеберячко Ю.І., Яворська О.О., Книш І.М. *Проблеми перевірки захисних властивостей фільтрувальних респіраторів*. Збірник наукових праць НГУ № 55, – Дніпро: Друкарня «Візіон», 2018. С. 384-391.
20. Голінько В.І., Чеберячко С.І, Книш І.М. *На захисті дихання. Охорона праці і пожежна безпека*. 2019. № 3. С. 23–28.
21. Наказ МОЗ України “Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони” № 1596 від 14.07.2020

22. Appl M. *Ammonia 1. Introduction*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2012. Vol. 3. P. 107-137. DOI: 10.1002/14356007.a02_143.pub3
23. *Chemical Weapons Convention*. Organization for the prohibition of Chemical Weapons. URL: <https://www.opcw.org/chemical-weapons-convention>
24. 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
25. 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%20(82).264892
26. Трушков В.Ф., Перминов К.А., Сапожникова В.В., Игнатова О.Л. *Оценка взаимосвязи свойств химических соединений и их токсичности для единого гигиенического нормирования химических веществ*. Гигиена и санитария. 2013. № 2. С. 87-90.
27. Косенко Е.А. *Внутриклеточные механизмы токсичности аммиака*. Дисс. ... докт. биол. наук. 03.00.04. Пушино, 1999. 218 с.
28. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. *Requirements to respiratory protection for workers (World practices reviewed)*. Health Risk Anal. 2020. N 4. P. 188–195. DOI: 10.21668/health.risk/2020.4.21.eng
29. *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals*. Vol. 6. National Research Council (US). Committee on Acute Exposure Guideline Levels. Washington: National Academies Press, 2008. 318 p. DOI: 10.17226/12018
30. Craig D.K., Davis J.S., Hansen D.J., Petrocchi A.J., Powell T.J., Tuccinardi T.E. *Derivation of temporary emergency exposure limits (TEELs)*. J. Appl. Toxicol. 2000. Vol. 20, N 1. P. 11-20. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1263(200001/02)20:1<11::AID-JAT622>3.0.CO;2-Q
31. Bandosz T.J. *Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation*. Elsevier, Oxford, 2006. P. 475–528.

32. Bandosz T.J., Petit C. *On the reactive adsorption of ammonia on activated carbons modified by impregnation with inorganic compounds*. J. Colloid Interface Sci. 2009. Vol. 338, N 2. P. 329–345. DOI: 10.1016/j.jcis.2009.06.039
33. 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
34. Эннан А.А., Хома Р.Е., Длубовский Р.М., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.Н., Михайлова Т.В. *Влияние модифицирующих добавок на хемосорбцию оксида серы(IV) волокнистым материалом, импрегнированным полиэтиленполиамином*. Вісник ОНУ. Хімія. 2020. Т. 25, № 4. С. 56-73. DOI: 10.18524/2304-0947.2020.4(76).216927
35. Генис А.В., Кузнецов А.В. *Новые виды волокнистых фильтрующесорбирующих композиционных материалов для создания современных средств индивидуальной защиты*. Полимеры и материалы. 2017. № 4. С. 48-52.
36. Эннан А.А., Байденко В.И., Захаренко Ю.С., Гальбрайх Л.С., Лишевская М.О., Захаренко В.Н. *Импрегнированные сорбционно-активные волокнистые материалы*. Тр. 1-й Междунар. науч.-практ. конф. «Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в свароч. производстве» (г. Одесса, 11-13 сентября 2002 г.). Одесса: Астропринт, 2002. С. 422-431.
37. Iranpour R., Zhao J., Wang A., Yang F., Li X. *A Green Route to Mass Production of Anhydrous Triammonium Citrate*. Adv. Mater. Res. 2012. Vol. 518-523. P. 3908-3911. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.3908
38. ДСТУ EN 14387:2017 (EN 14387:2004 + A1:2008, IDT). Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри протигазові та фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ

2.1. Стандартизовані методи дослідження показників якості ЗІЗОД

До стандартизованих методів дослідження показників якості ЗІЗОД, які характеризують їх захисні і ергономічні властивості, відносять [1 - 4]: коефіцієнт проникання фільтра, коефіцієнт підсосу повітря, стійкість до займання, стійкість до запилення доломітовим пилом, вміст діоксиду вуглецю, опір диханню, коефіцієнт проникності протиаерозольного фільтра та інші. Визначення цих показників (табл. 2.1, 2.2) проводиться за вимогами для півмасок типу FF за ДСТУ EN 149:2017 і ДСТУ EN 1827:2017 для напівмасок типу FM за стандартизованими методами випробувань [5, 6].

Таблиця 2.1 – Показники, що визначають властивості протиаерозольних півмасок типу FF за ДСТУ EN 149:2017

Показники захисних властивостей					Ергономічні характеристики				
Назва показника	Пункт вимог	Кількість зразків	Попередній вплив	Пункт випробування	Назва показника	Пункт вимог	Кількість зразків	Попередній вплив	Пункт випробування
Загальний коефіцієнт підсосу	7.9.1	10	п.п. –5 т.в. –5	8.5	Вміст діоксиду вуглецю	7.12	3	п.п.	8.7
Коефіцієнт проникання фільтра	7.9.2	9 для кожного аерозолю	п.п. – 3 м.н. –3 м.м.+т.в. – 3	8.11	Площа поля зору	7.14	2	п.п.	8.4
					Випробування видихувального клапана постійним потоком	7.15	10	п.п. –5 т.в. –5	8.2 8.5
					Опір диханню	7.16	12	п.п. – 3 т.в. –3 м.н. –3 в.п. –3	
					Стійкість до запилення	7.17	3	п.п. – 1 т.в. –2	8.10

Таблиця 2.2 – Показники, що визначають властивості напівмасок від аерозолів типу FM за ДСТУ EN 1827:2017

Показники захисних властивостей					Ергономічні характеристики				
Назва показника	Пункт вимог	Кількість зразків	Попередній вплив	Пункт випробування	Назва показника	Пункт вимог	Кількість зразків	Попередній вплив	Пункт випробування
Коефіцієнт проникності протиаерозольного фільтра	7.16	9 для кожного аерозолю	п.п. – 3 м.н. – 3 м.м.+т.в. – 3	п.8.8. ДСТУ EN 13274-7	Маса	7.14			8.3
					Запилення	8.17	3	п.п. – 1 у відповідності з п.8.2.2 – 2	8.9 EN 143, EN 149
					Вміст діоксиду вуглецю в повітрі, що вдихається	7.19	3	п.п.	8.10
					Опір диханню	7.20	9	п.п. – 3 у відповідності з п.8.2.2 – 3 у відповідності з п.8.2.4 – 3	8.11
Коефіцієнт підсосу повітря	7.21	10	п.п. – 5 у відповідності з п.8.2.2 – 5	8.12					

2.2 Метод визначення коефіцієнта підсмоктування тест-аерозолію хлориду натрію з урахуванням сили натягу стрічок наголів'я

Для визначення сили натягу стрічок наголів'я був використаний спеціальний гнучкий датчик (Conductive Rubber Cord Stretch Sensor) (надалі - датчик), виконаний у вигляді еластичного шнура, електричний опір якого при розтягуванні змінюється лінійно. Експериментально оцінку даного методу проводили за величиною сили натягу наголів'я, для чого було розроблено лабораторний стенд, схема якого наведена на рис. 2.1. Датчик являє собою шнур діаметром 2 мм та довжиною 500 мм з початковим опором близько 300–350 Ом на дюйм.

Принцип роботи датчика базується на зміні опору при збільшенні відстані між крайніми його точками. Фіксація датчика на півмасці здійснювалася за допомогою металевих затискачів («крокодилів»), при цьому його резистори, які вмонтовані на кінцях стрічки приєднувались за допомогою спеціальних дротів (один – до стандартного резистора, а другий – до змінного). Тобто з'єднання

відбувалося за типовою схемою розділювача напруги, з додаванням до неї змінного резистору, який приєднувався послідовно з аналогічним резистором приблизно такого ж опору [7]. За допомогою шлейфу датчик з'єднується з аналоговим входом плати Arduino (тобто один кінець стандартного резистора і один кінець від змінного резистора, підключені до роз'ємів +5 В і GND). Через USB-вхід плати проводилася оцінка сигналу з аналогового виходу та передавалася на монітор комп'ютера. Потім визначені дані зі зміни електричного опору перераховувалися в Excel та визначалась сила натягу ремінців.

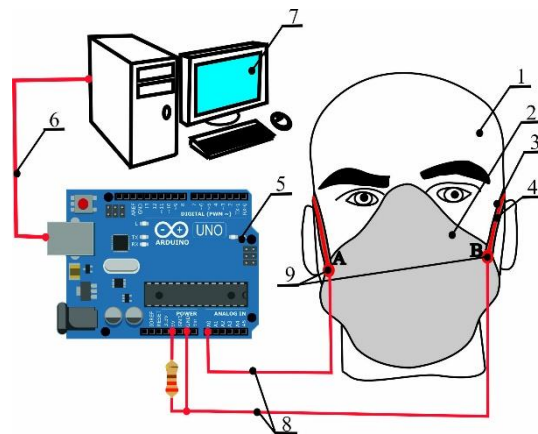


Рисунок 2.1 - Загальний вигляд і схема стенду для виміру сили натягу наголів'я: 1 – манекен голови; 2 – півмаска; 3 – верхня стрічка наголів'я півмаски; 4 – гнучкий датчик розтягу 5 – плата Arduino; 6 – USB- кабель для з'єднання плати з комп'ютером; 7 – комп'ютер; 8 – шлейф, який з'єднує датчик з платою; 9 – зажим

В основу досліджень коефіцієнта підсосу по смузі обтюрації покладена стандартизована методика випробувань півмасок з оцінки коефіцієнтів проникання за тест-аерозолем хлориду натрію (п. 8.11 ДСТУ EN 149:2017).

Послідовність виконання випробувань була наступною.

1. Півмаску одягали на манекен, відповідно до вказівок виробника (кріплення максимально ослаблювали, до моменту сповзання півмаски з манекену).

2. Виконували перевірку роботи датчика: його підключали до живлення та розтягали назад і вперед з різною швидкістю декілька хвилин. Довжина розтягу приблизно на 50–70% довша, ніж довжина його у спокою). Проводити дослідження було можливо лише при стабільних показниках.

3. Датчик закріплювали на півмасці з двох боків якомога ближче до місця кріплення наголів'я (з охоптом голови), за допомогою спеціальних захватів «крокодил».

4. Вмикали живлення плати Arduino та вимірювали початкове значення сили натягу (ремінці наголів'я максимально ослаблені, однак сили натягу достатньо для утримання півмаски на манекені).

5. Розміщували манекен голови у випробувальній камері (рисунок 2.1), в яку подають тест-аерозоль хлориду натрію з концентрацією $8\text{мг}/\text{м}^3$; розподілом частинок – від 0,02 до 2 мкм при середньомасовому діаметрі близько 0,6 мкм; швидкість аспірації аерозолів $100\text{ дм}^3/\text{хв}$.

6. Проводили визначення концентрації тест-аерозолу: відбирали проби повітря з підмаскового простору півмаски і з випробувальної камери за допомогою трьохканального аспіратора з витратою повітря $30\text{ дм}^3/\text{хв}$.

7. За допомогою програмного забезпечення отримували загальний коефіцієнт проникання, який складався з коефіцієнта проникання крізь фільтрувальну поверхню півмаски і коефіцієнта підсосу по смузі обтюрації. Отримані значення виводились на монітор ПК. Результат осереднювався, заносився у таблицю спеціалізованої програми AAS-2009.

8. Збільшували натяг ремінців наголів'я і повторювали випробування, фіксуючи значення сили натягу та відповідний загальний коефіцієнт проникнення.

9. Півмаску розміщували в затискачі і визначали коефіцієнт проникання крізь фільтрувальну поверхню півмаски (п. 8.11 за ДСТУ EN 149:2017)

10. Значення коефіцієнта підсосу по смузі обтюрації визначали як різницю між загальним коефіцієнтом проникання крізь фільтрувальну поверхню півмаски.

2.3. Метод визначення щільності прилягання півмаски до обличчя за методом термографування

Для одержання необхідних даних, фільтрувальний ЗІЗОД, встановлений на обличчі з дотриманням правил виробника та попередньою перевіркою величини натягу наголів'я динамометром після його одягання, утримували на обличчі декілька хвилин, а потім здійснювали зйомку та візуальний аналіз одержаної термограми смуги обтюраторії (рис. 2.2) [8-10]. Місця нещільного прилягання півмаски до обличчя легко визначались: на термограмі вони, на відміну від місць щільного прилягання обтюратора до обличчя, мали інше забарвлення оскільки встигали нагрітися менше.

Отримане таким чином зображення смуги обтюраторії переміщували у відповідне програмне забезпечення, де проходила низка послідовних перетворень для виявлення характерних ознак передачі тепла за рахунок теплопровідності між деякою ділянкою на обличчі з температурою t_1 до щільно прилеглої ділянки півмаски з температурою t_2 . При цьому у нещільних ділянках відбувалась передача тепла через тонкий прошарок повітря, що призводило до появи температурних контрастів на поверхні обтюратора з достатньою різницею, що описується законом Планка. Таким чином, розподіл температур по поверхні смуги обтюраторії $T(x, y)$ несе інформацію про ефективність ізолювальних властивостей респіраторів та наявність локальних температурних аномалій, обумовлених прихованими дефектами конструкції чи невідповідністю їх антропометричним параметрам обличчя [11].

Засобами MATLAB зображення термограми при використанні функції `imread` можна перетворити в масив даних із заданим діапазоном значень від 0 до 255 (рис. 2.3). Цей масив, шляхом статистичної обробки, дозволяє отримати стаціонарну функцію розподілу температури на поверхні обтюратора, яку представимо у вигляді [12]:

$$F(x, y) = \sum \sum T(x, y),$$

де $T(x, y)$ - температура точки з координатами (x, y) .

Потужність теплових процесів на поверхні обтюратора обмежених координатами $[x_1; x_n]$, $[y_1; y_n]$ в розраховували за формулою [13]:

$$P = \iint_i^n F(x, y)xydxdy.$$

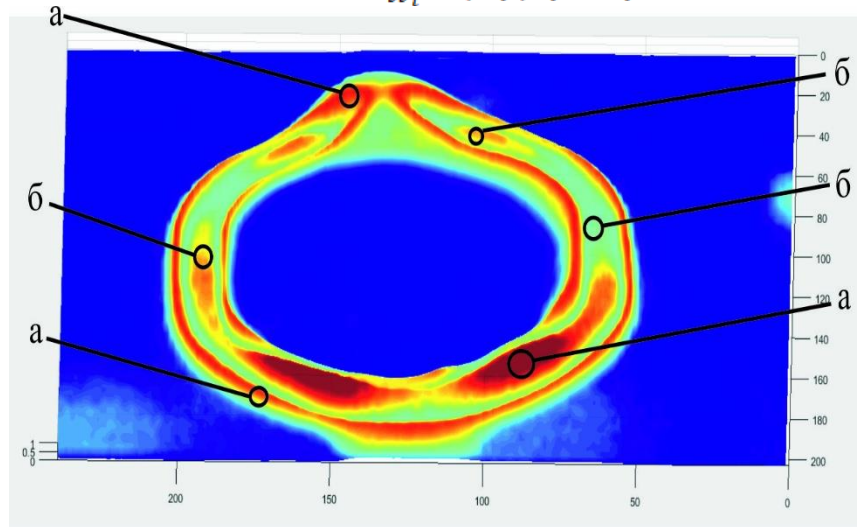


Рисунок 2.2 - Термограма обтюратора півмаски: *а* – щільне прилягання (червоне забарвлення); *б* – нещільне прилягання (в залежності від ширини зазору між обличчям і півмаскою забарвлення змінюється від світло-зеленого помаранчевого).

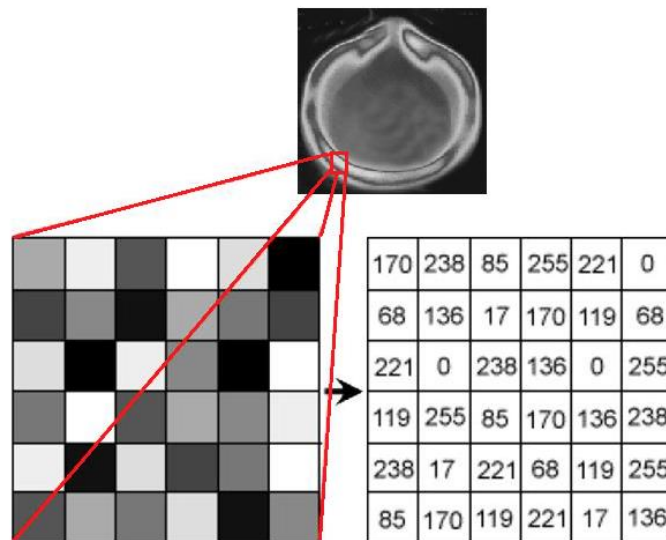


Рисунок 2.3 - Приклад перетворення зображення у цифровий формат.

Потім проводили аналіз, порівнюючи одержані значення з тепловою потужністю «еталонної» смуги обтюрації, яка суміщається з обличчям без утворення нещільності (тобто проектна площа смуги обтюрації відповідає 100% прилягання обтюратора до обличчя і має відповідне однорідне забарвлення.). Отже, для аналізу фотографій, отриманих тепловізійною зйомкою проводилась сегментація зображення за ознакою яскравості білого кольору, що

свідчило про щільне прилягання обтюратора до обличчя. Глобальний опис виходив при інтегруванні найбільших кластерів на зображеннях, які вимірювались в пікселях. В результаті можна отримати гістограми, які дозволяють в кількісному значенні оцінити коефіцієнт щільності прилягання на зразках за виразом:

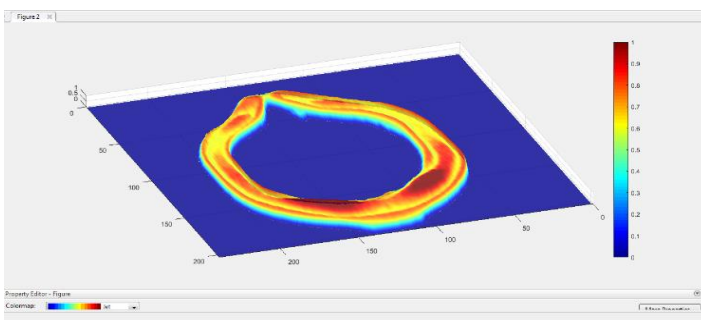
$$K_{щ} = \frac{P_{max} - P_p}{P_{max}},$$

де P_{max} , P_p – теплова потужність «еталонного» обтюратора і розрахованого, відповідно.

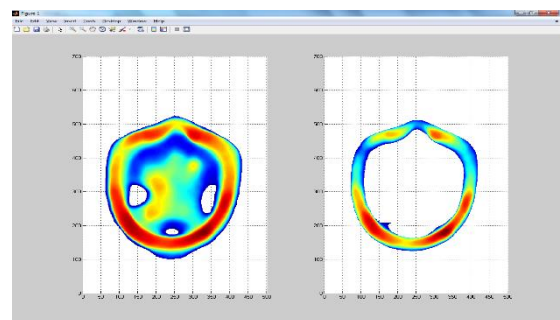
Подальші дії полягали у розрахунку реальної площі прилягання півмаски за результатами обробки отриманого зображення термограми у програмі Matlab. Для цього, скориставшись функцією `imread`, зчитувати різнокольорове зображення, а командою `surf` отримувати відображення поверхонь з різним фоном (рис. 2.4 а). Далі за допомогою команди `thresholding` діставати бінарне зображення, на якому, скориставшись функцією `whos`, можна оцінити розмір і кількість елементів різного кольору (рис. 2.4 б) [14 - 16]. Потім функцію пошуку `find` аналізувати масив даних від локального теплового мінімуму до максимуму для визначення процентного співвідношення між відтинками. Максимально щільному прилягання відповідає – 1; відсутність прилягання – 0 (рис. 2.5).

За визначеними даними розраховували коефіцієнт щільності прилягання, рахуючи, що теплова потужність «еталонної» смуги обтюратора складає 100%.

Рангова шкала для оцінки щільності прилягання наведена у табл. 2.3, що побудована за принципом максимально щільному прилягання відповідає – 1; відсутність прилягання – 0.



a



б

Рисунок 2.4 - Термографічний аналіз смуги обтюратора

```

Command Window
Процент значення від 0.40 до 0.50 = 5.5583%
Процент значення від 0.50 до 0.60 = 17.2384%
Процент значення від 0.60 до 0.70 = 23.7295%
Процент значення від 0.70 до 0.80 = 28.0051%
Процент значення від 0.80 до 0.90 = 16.3347%
Процент значення від 0.90 до 1.00 = 9.1342%
Сума: 100.0000

Процент значення від 0.70 до 1.00 = 53.4739%
Процент значений от 0.60 до 0.70 = 23.7295%
Процент значений от 0.40 до 0.60 = 22.7966%
Сума: 100.0000

```

Рисунок 2.5 - Вигляд вікна з аналізом відтінків на обтюраторі, які задавалися шкалою від 0 до 1

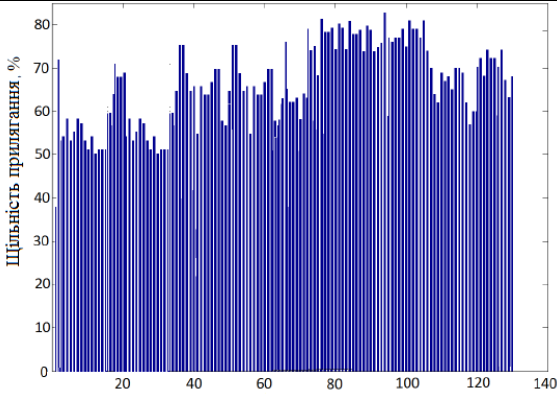
Таблиця 2.3 - Оцінка щільності прилягання півмаски до обличчя

Оцінка щільності	Відмінна	Добра	Задовільна	Допустима	Недопустима
$K_{щ}$	до 0,9	0,9 – 0,8	0,8 – 0,7	0,7 – 0,6	менше 0,6

У результаті проведеної обробки зображень термограми за вище вказаним алгоритмом була побудована гістограма, яка характеризувала розподіл кольорової гами по смузі обтюраторії (табл. 2.4).

Для перевірки похибки вимірювань використовували інтегративний алгоритм найближчих точок, який відомий як метод-ICP [17]. Він базується на ітеративній процедурі мінімізації відстані між двома точками на зображенні. Для цього брали первинну хмару точок з необробленого термографічного зображення смуги обтюраторії і вторинну після глибокого перетворення відповідними функціями у програми Matlab. При поєднанні знімків розраховувалось середньоквадратичне відхилення між двома парами відповідних точок.

Таблиця 2.4 - Вигляд результатів обробки термограми обтюратора

Оцінка щільності $K_{щ}$	Гістограма	Опис
0,63 щільність прилягання допустима		У діапазоні точок $N = 0 - 18, 25-35$, зафіксовано зниження температурних показників, що вказує на наявність значних щілин

Температура поверхні обличчя працівника є інтегральним показником, який можна взяти за основу для вирішення задачі з оцінки коефіцієнта захисту респіратора у виробничих умовах, коли інші методи для визначення захисної ефективності не можна застосувати через низку різних причин. Отже у результаті проведеної роботи була запропонована кількісна оцінка щільності прилягання півмасок до обличчя людини шляхом обробки відповідним програмним забезпеченням термограм смуги обтюрації. Запропонований підхід дозволяв визначати місце підсмоктування, адже при аналізі задавались координати пікселів відповідно до розмірів півмасок.

Алгоритм дій для вимірювання щільності прилягання півмаски складався з наступних кроків.

1. Готувалось спеціальне розмірне поле зі шкалами для визначення розмірів півмаски і площі смуги обтюрації (рис. 2.6).

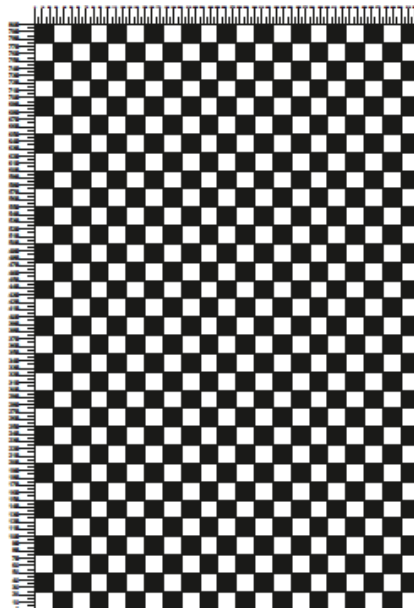


Рисунок 2.6 - Розрахункове поле для фотографування респіраторів

2. Фотокамера на штативі встановлювалась на відстані 1м від фільтрувального ЗІЗОД.

3. Фільтрувальний ЗІЗОД розташовувався в центрі шкали, проводилась попередня фотозйомка (рис. 2.7), яка дозволяла враховувати загальний температурний фон.

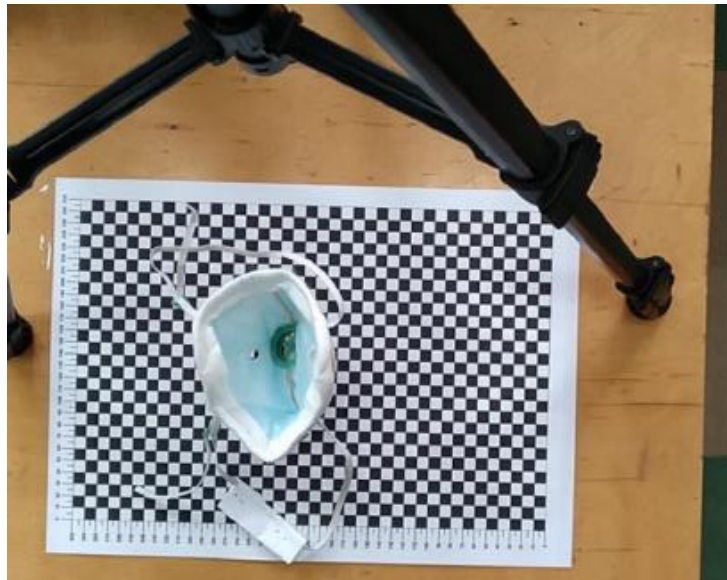


Рисунок 2.7 - Попередня фотографія респіратора

4. Фільтрувальний ЗІЗОД надягався на обличчя людини з виконанням вимог інструкції виробника з експлуатації, витримувався 5 хв, далі знімався, а смуга обтюрації фотографувалась за допомогою тепловізора (рис. 2.8).

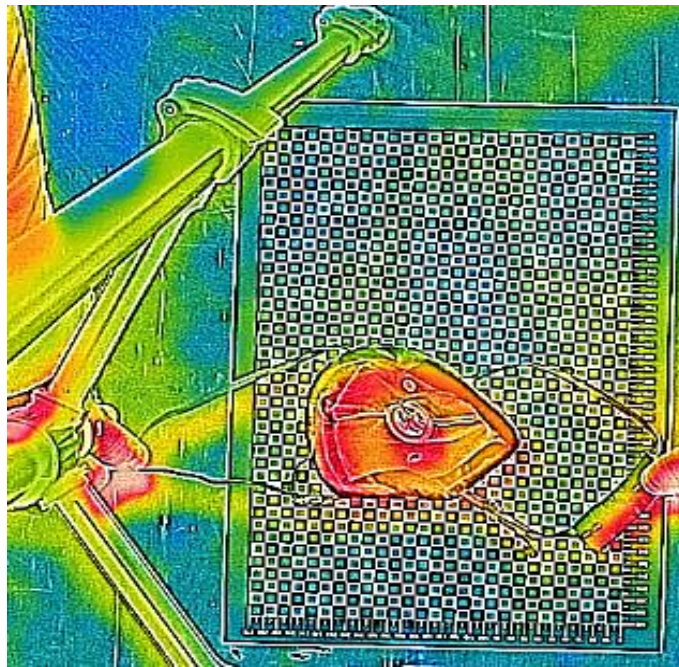


Рисунок 2.8 - Зображення півмаски на екрані тепловізора

6. Знімок переносився на комп'ютер у програму Matlab, де проводилось оцифрування зображення та побудова гістограми, яка характеризувала розподіл теплового забарвлення на поверхні обтюратора.

2.4. Методика випробувань ЗІЗОД в умовах виробництва

Методика виробничих випробувань фільтрувальних ЗІЗОД – це документ, яким встановлено порядок перевірки відповідності вимогам Технічному регламенту ЗІЗ в умовах виробництва, де склад шкідливих речовин в повітрі відповідає функціональному призначенню ЗІЗОД. В табл. 2.5 надані основні терміни і їх визначення, які використані при складанні даного документа.

Таблиця 2.5 – Терміни та їх визначення, застосовані у даному документі

Термін	Визначення
1	2
Об'єкт випробувань	Виріб, що підлягає випробуванню
Засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД)	Об'єкти випробувань, що використовуються для індивідуального захисту органів дихання користувачів від аеродисперсних частинок різного походження (пил, дим, туман), а також токсичних газів і парів сполук
Засоби індивідуального захисту органів слуху (ЗІЗОС)	Об'єкти випробувань, що використовуються для зменшення дії шуму на орган слуху
Виробниче випробування	Експериментальне визначення експлуатаційних характеристик та якості ЗІЗОД в умовах виробництва за регламентованою методикою період
Технічний регламент	Документ, що визначає вимоги до рівня безпеки ЗІЗОД, проведення процедури оцінки відповідності таким вимогам, встановлює правила маркування зазначених засобів та введення їх в обіг
Технічні умови (ТУ)	Нормативний документ, що встановлює технічні вимоги, яким має відповідати продукція
Висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи МОЗ України щодо об'єктів виробничих випробувань та Технічних умов на виробництво	Документи, які свідчать про відповідність об'єктів виробничих випробувань медичним критеріям безпеки та Технічних умов на виготовлення об'єктів виробничих випробувань вимогам діючого санітарного законодавства України
Методика проведення виробничих випробувань (Методика)	Організаційно-методичний документ, яким встановлюється порядок проведення виробничих випробувань, до складу котрого належать опис об'єктів випробувань, перелік технічної документації, форми надання результатів випробувань
Протокол випробувань	Документ, що містить необхідні відомості про об'єкт, умови та результати випробувань
FFP2	Маркування протиаерозольної фільтрувальної напівмаски з невіддільним корпусом II класу захисту від аеродисперсних частинок

Кінець таблиці 2.5

1	2
FMP2	Маркування напівмаски зі змінним фільтром II класу захисту від аеродисперсних частинок
FME1P2	Маркування напівмаски зі змінним комбінованим фільтром I класу захисту від діоксиду вуглецю сірки, інших кислих газів та парів кислот, а також II класу захисту від аеродисперсних частинок
FMK1P2	Маркування напівмаски зі змінним скомбінованим фільтром I класу захисту від аміаку та парів та II класу захисту від аеродисперсних частинок
FMCO1P2	Маркування напівмаски за змінним комбінованим фільтром I класу захисту від оксиду вуглецю (II) та II класу захисту від аеродисперсних частинок
FME1K1P2	Маркування напівмаски за змінним комбінованим фільтром I класу захисту від діоксиду сірки, інших кислих газів та парів кислот, I класу захисту від аміаку та парів амінів та II класу захисту від аеродисперсних частинок
FMA1E1P2	Маркування напівмаски зі змінним комбінованим фільтром I класу захисту від парів органічних сполук з точкою кипіння вище 65°C і кислих газів та парів кислот, II класу захисту від аеродисперсних частинок
FMA1B1E1P2	Маркування напівмаски зі змінним комбінованим фільтром I класу захисту від парів органічних сполук з точкою кипіння вище 65°C, I класу захисту від простих неорганічних газів і парів, I класу захисту від діоксиду сірки та інших кислих газів і парів та II класу захисту від аеродисперсних частинок

2.4.1. Опис об'єктів виробничих випробувань

Опис об'єктів виробничих випробувань повинен включати: назву відповідно до маркування, що дано на об'єкті випробувань, зображення об'єкта випробувань, на якому чітко зображені конструктивні елементи, опис конструкції ЗІЗОД відповідно до представленого зображення.

2.4.2. Перелік технічної документації, яка повинна бути надана на виробничі випробування

На виробничі випробування повинна бути надана наступна технічна документація до кожного з об'єктів випробувань: технічні умови на виготовлення ЗІЗОД, перелік об'єктів, які повинні пройти виробничі випробування, інструкції з

експлуатації на кожен об'єкт випробувань, висновки санітарно-епідеміологічної експертизи щодо відповідності об'єктів виробничих випробувань медичним критеріям безпеки, технічних умов – вимогам діючого санітарного законодавства України, протоколи лабораторних випробувань, акт приймання-передачі зразка-еталона, акт приймання-передачі об'єктів випробувань, перелік професій випробувачів та робочих місць, де проводитимуться випробування ЗІЗОД, зразки опитувальних листів, форми Протоколів виробничих випробувань, форма Актів виробничих випробувань.

2.4.3. Порядок проведення виробничих випробувань

Метою виробничих випробувань ЗІЗОД є перевірка відповідності захисних і експлуатаційних характеристик вимогам Технічного регламенту ЗІЗ.

2.4.3.1. Підготовка до проведення виробничих випробувань

Відповідно до Розпорядження по підприємству, де планується проведення виробничих випробувань, створюються комісії: з організації контролю виробничих випробувань та проведення виробничих випробувань.

Комісію з організації та контролю виробничих випробувань очолює директор підприємства, де проводитимуться виробничі випробування. До її складу входять: керівник відділу охорони праці, фахівці відділу охорони праці, представник профспілкової організації або уповноважений трудового колективу (за узгодженням) та представник організації, яка проводитиме виробничі випробування.

Комісію з проведення виробничих випробувань очолюють керівники підрозділів (цехів), де проводитимуться виробничі випробування ЗІЗОД. До складу комісії входять: фахівці (куратори) з питань охорони праці в підрозділах (цехах), відповідальний за випробування ЗІЗОД, представник профспілкової організації або уповноважений керівник з охорони праці (за узгодженням) та представник організації, яка проводитиме виробничі випробування.

2.4.3.2. Контроль безпеки об'єктів виробничих випробувань

Офіційним підтвердженням безпеки виробничих випробувань ЗІЗОД є висновки санітарно-епідеміологічної експертизи щодо відповідності об'єктів виробничих випробувань медичним критеріям безпеки технічних умов вимогам діючого санітарного законодавства України та протоколи лабораторних випробувань об'єктів, що видані акредитованою лабораторією.

Ідентифікацію зразків об'єктів випробувань здійснює комісія з організації та контролю виробничих випробувань шляхом їх порівняння із зразками-еталонами, що надані на випробування.

2.4.4 Регламент проведення виробничих випробувань

Голова комісії з організації та контролю виробничих випробувань: приймає об'єкти випробувань у відповідності з актом приймання-передачі зразків-еталонів та об'єктів випробувань, які мають маркування і споряджені інструкцією з експлуатації; визначає робітників-випробувачів відповідно до переліку професій та робочих місць, де небезпечні та шкідливі фактори відповідають призначенню та захисним характеристикам ЗІЗОД; сумісно з представником організації, що проводить виробничі випробування, організовує навчання щодо призначення, устрою, правил експлуатації та вимог щодо догляду об'єктів випробувань, змісту і порядку оформлення опитувальних листів, обліку результатів випробувань.

Голова комісії з проведення виробничих випробувань повинен:

- оволодіти даними щодо призначення, устрою, правил експлуатації, вимог до догляду до ЗІЗОД, змісту та порядку оформлення опитувальних листів, обліку результатів випробувань;
- здійснювати контроль над проведенням виробничих випробувань (забезпечити застосування ЗІЗОД згідно з інструкцією з їх експлуатації);
- інформувати відділ охорони праці або/і відповідального за проведення та контроль виробничих випробувань про одержані результати;

- забезпечувати слушне заповнення та збирання опитувальних листів, здійснювати аналіз узагальнювання даних, що містяться в опитувальних листах та оформлених протоколах виробничих випробувань, та забезпечувати передачу їх голові комісії з організації та контролю виробничих випробувань.

2.4.5 Обробка та аналіз результатів виробничих випробувань

Комісія з організації та контролю виробничих випробувань на підставі даних, що містяться в протоколах, складає акт виробничих випробувань ЗІЗОД та надає висновок щодо відповідності їх захисних та експлуатаційних характеристик вимогам Технічного регламенту ЗІЗ.

2.5 Методика визначення коефіцієнта проникання фільтрувальних матеріалів за тест-аерозолем парафінової оливи

В основу метода визначення коефіцієнта проникання (Кпр.) фільтрувальних матеріалів покладено принцип порівняння концентрації аерозольно-повітряної суміші до та після об'єктів випробування (ОВ) - фільтрувальних матеріалів, призначених для виготовлення ЗІЗОД.

Визначення Кпр. здійснюється з використанням стенда, параметри якого наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Параметри стенда для визначення Кпр. та межі їх використання

№ п/п	Найменування параметру	Одиниця виміру	Межі використання параметру
1	2	3	4
1	Тиск повітря на вході в генератор аерозолю	кгс/см ²	0,20÷0,24
2	Витрата повітря для постійної обдувки аерозольного факелу камери фотометра	дм ³ /хв	15±5
3	Витрата аерозольно-повітряного потоку магістралей, з'єднаних з алонжем	дм ³ /хв	30±1
4	Витрата аерозольно-повітряного потоку проби в ФАН-А.УХЛ-4.2	дм ³ /хв	2
5	Температура води в кожусі генератора, необхідна для утворення аерозолю парафінової оливи	°С	100
6	Температура парафінової оливи в циліндрі генератора аерозолю	°С	100
7	Час розігріву води в кожусі генератора	хв	40-50

Кінець таблиці 2.6

1	2	3	4
8	Час, необхідний для повного розігріву оливи в циліндрі генератора, після розігріву води до температури кипіння	хв	20
9	Об'єм оливи в циліндрі генератора аерозолі, не більш	см ³	300
10	Робоча вагова концентрація аерозолі в аерозольно-повітряному потоці(C_0)	мг/м ³	20 ± 4
11	Час прогріву фотометра	хв	30
12	Час продувки повітрям магістралей стенду і камери фотометра повітрям (перед вимірюванням I_{cc} потоку камери необхідно продути від аерозольних часток)	хв	10
13	Час продувки магістралей стенду і камери фотометра, після випробовувань, не менш	хв	15
14	Похибка визначення коефіцієнта проникання аерозолі парафінової оливи, не більш	%	± 20
15	Лінійна швидкість аерозольно-повітряного потоку аерозолів, з'єднаних з алонжем	см/с	1

Принципова схема лабораторного стенда наведена на рис. 2.9.

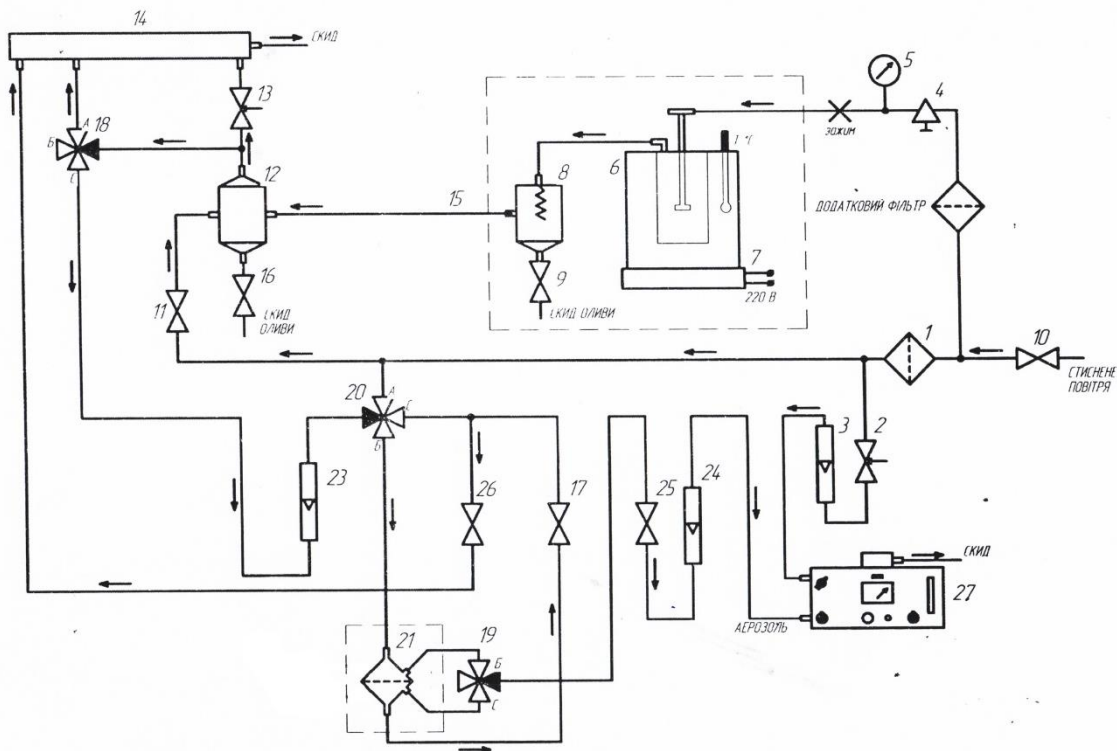


Рисунок 2.9 – Принципова схема стенда УВЦ ЗІЗОД-01-2019 СПО для визначення коефіцієнта проникнення за тест-аерозолем парафінової оливи фільтрувальних матеріалів: 1 – фільтр повітряний; 2,13 – Вентилі регулюючі; 1,23,24 – ротаметри; 4 – редуктор; 5 – манометр; 6 – генератор аерозолі; 7 – нагрівач; 8 – сепаратор; 9,10,11,16,17,25,26 – крани запірні; 12 – змішувач; 14 – ресивер; 15 – магістраль з'єднання; 18,19,20 – крани трьохходові; 21 – алонж; 27 – фотометр фотоелектричний для аерозолів ФАН-А.УХЛ 4,2

Потік стислого повітря надходить через відкритий кран 10, повітряний фільтр 1, вентиль регулюючий 2, ротаметр 3 на обдув камери фотометра фотоелектричного для аерозолів ФАН-А.УХЛ-4.2 27. Стисле повітря після фільтра 1 також надходить через регулюючий вентиль 11 в змішувач 12. В генератор аерозолу 6 стисле повітря подається через додатковий фільтр, редуктор 4 з манометром 5. Концентрація аерозолу збільшується при підвищенні тиску повітря на вході в генератор за рахунок редуктора 4.

Джерело аерозолу – генератор 6 – встановлено на нагрівачі 7. Аерозоль, що утворюється, потрапляє в сепаратор 8. Коли аерозоль проходить по спіральному каналу, великодисперсні краплі стікають на дно сепаратора, а дрібні – разом з повітрям по магістралі 15 надходять в змішувач 12. Через запірний кран 9 олива, що осіла на дні сепаратора, виводиться з нього. Зі змішувача олива виводиться через кран 16. Аерозольно-повітряний потік зі змішувача 12 надходить на кран трьохходовий 18. Про проходженні крана 18 «С» потік надходить на ротаметр 23, далі через кран 20 – в алонж. При положенні крана 18 «А», потік надходить в ресивер на скид. Кран трьохходовий 20 в положенні «Б» спрямовує потік в алонж 21 до ОВ, при положенні «С» трьохходового крана 20 та відкритому крані 26 потік спрямовується в ресивер на скид. Витрати цього потоку регулюються вентилем 17 і відкритому запірному вентилю 26 аерозольно-повітряний потік після ОВ спрямовується в ресивер на скид.

Трьохходовий кран 19 спрямовує потік до фотометра фотоелектричного для аерозолів ФАН-А УХЛ-4.2 27. В положенні «Б» крану 19 вимрюється концентрація повітряно-аерозольної суміші до проходження через ОВ, в положенні «С» – після ОВ. Витрату аерозольно-повітряної суміші, що надходить до фотометра фотоелектричного для аерозолів ФАН-А УХЛ-4.2 27, регулюють вентилем 25 з використанням ротаметра 24.

За допомогою фотометра фотоелектричного для аерозолів ФАН-А УХЛ-4.2 реєструють вагову концентрацію аерозолу в потоці до ОВ, яка прямо пропорційна початковій концентрації аерозолу в аерозольно-повітряній суміші після ОВ.

Коефіцієнт проникання у відсотках вираховують за формулою [10]:

$$K = \frac{I - I_{cc}}{I_{noch}} * 100\%, \quad (2.1)$$

де I – показання фотометра при проходженні через його камеру аерозолі, відібраного після випробувального зразка;

I_{cc} – показання фотометра від його власного фонового світлорозсіяння (при проходженні через камеру чистого повітря);

I_{noch} – показання фотометру при проходженні через його камеру аерозолі, відібраного до зразка.

Розрахунок похибки вимірювань при визначенні Кпр. Фільтрувальних матеріалів виконується наступним чином:

- визначають середнє значення:

$$\bar{K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i \quad (2.2)$$

- визначають відхилення від середнього значення:

$$\Delta K_i = K_i - \bar{K}, \quad (2.3)$$

де K_i – i -те значення коефіцієнта проникання, $i = 1, 2, \dots, n$ (в даному випадку $n=5$).

- визначають середньоквадратичний відхил результатів вимірювань середнього значення:

$$\sigma(\bar{K}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta K_i)^2}{n(n-1)}} \quad (2.4)$$

- визначають абсолютну похибку вимірювань при $n = 5$ з ймовірністю $P=0,95$:

$$\Delta K = 2.78 \cdot \sigma(\bar{K}) \quad (2.5)$$

- розраховують випадкову похибку результатів вимірювань:

$$\varepsilon_{вим} = \frac{\Delta K}{\bar{K}} \times 100\% \quad (2.6)$$

- розраховують систематичну інструментальну похибку:

$$\varepsilon_c = \sqrt{\varepsilon_p^2 + \varepsilon_\phi^2}, \quad (2.7)$$

де ε_p та ε_ϕ – систематичні інструментальні похибки ротаметра і фотометра, відповідно.

- розраховують загальну відносну похибку вимірювань при визначенні коефіцієнту проникання (ε), яка не повинна перевищувати $\pm 20\%$:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{вим}^2 + \varepsilon_c^2} \quad (2.8)$$

2.6 Методика перевірки механічної міцності ЗІЗОД

Перевірка механічної міцності ЗІЗОД здійснювалась з метою подальшого визначення параметрів, які регламентуються стандартами України, і виконуються на стенді, його параметри та межі використання наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7– Параметри стенда та межі його використання

№ п/п	Назва параметра	Одиниця виміру	Величина
1	Живлення	фази/вольти	3/380
2	Швидкість обертання кулачка	об/хв.	13±0,5
3	Кількість падінь сталевго ящика	раз/хв.	26±1
4	Час випробовування до досягнення кількості падінь 2000	хв.	77±3
5	Маса сталевго ящика	кг	10,5±0,5
6	Висота підймання сталевго ящика	мм	20±0,5
7	Маса станини	кг	250±1
8	Тривалість безупинної роботи установки, не більше	год	8

Зовнішній вигляд стенда наведено на рис. 2.10.

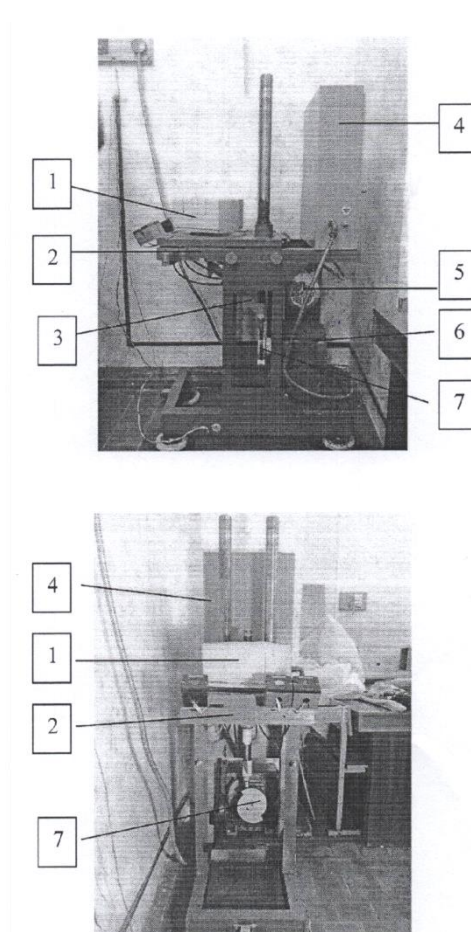


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд стенда для перевірки механічної міцності ЗІЗОД

Механічна міцність ЗІЗОД, тобто збереження первинного вигляду і їх функціональних властивостей після механічного впливу при падінні з висоти на тверду поверхню, перевірялась на установці, яка складалась зі станини 2 з електричним двигуном 5, який через редуктор 6 забезпечував обертання кулачка відповідної форми 7, за рахунок якого виконувались зворотно-поступальні рухи направляючої і пов'язаного з нею кронштейна 3. Кронштейн за допомогою штовхача підіймав сталевий ящик 1, що з'єднаний з поршнем, який вільно рухався по вертикалі в циліндрі станини. Після досягнення вищої точки підйому направляючої, кронштейн та штовхач падали на кулачок, а сталевий ящик – на станину. Така дія відбувалась двічі за один оберт кулачка.

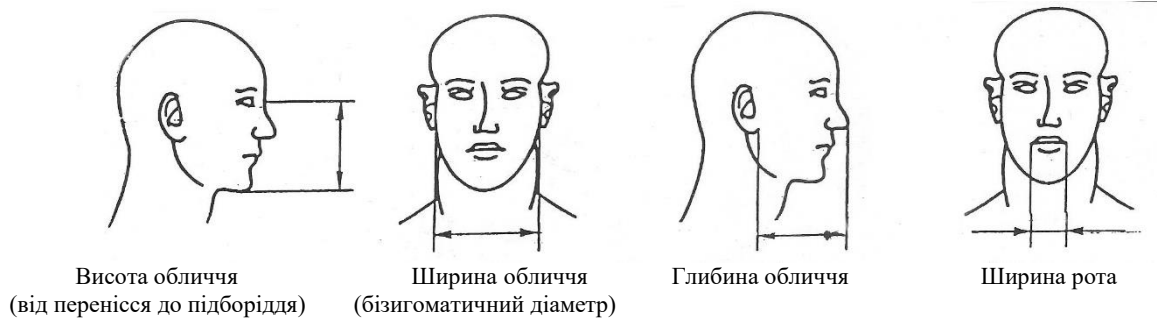
Об'єкти, що випробувались, укладались в сталевий ящик, поділений на відсіки. Виконувався повний цикл випробувань.

Після проведення механічного впливу об'єкти оглядались з метою визначення зміни їх геометричної форми, цілісності, наявності механічних пошкоджень, а також висипань речовин, що входять до складу ЗІЗОД.

2.7 Особливості підбору випробувачів для проведення перевірки захисних і експлуатаційних властивостей фільтрувальних респіраторів

На захисні властивості ЗІЗОД значно впливають антропометричні параметри обличчя, які сприяють утворенню зазорів різної величини по смузі обтюрації. Тому виникає необхідність у проведенні перевірки їх захисних властивостей на якомога більшій кількості випробувачів з відмінними рисами.

Важливою умовою, відповідно до вимог державних стандартів України, є навченість випробувачів як користуватись респіратором і відсутність факторів, які впливають на точність перевірки (наявність бороди і пошкоджень на обличчі), а також відповідність облич розмірам, що вказані на рис. 2.11 [18].



Номер зразка на випробувачі	Розміри обличчя (мм)			Ширина рота
	Висота	Ширина	Глибина	
1	109	139	121	52
2	110	142	113	54
3	110	139	112	52
4	114	139	112	54
5	110	136	110	56
6	109	137	112	53
7	114	135	111	55
8	108	140	107	51
9	107	138	111	53
10	109	139	115	53

Рисунок 2.11 - Параметри обличчя, які необхідно контролювати при дослідженні ЗІЗОД

Для забезпечення високої достовірності проведених випробувань фільтрувальних респіраторів була побудована відповідна таблиця для підбору випробувачів на підставі визначення типових антропометричних параметрів обличчя вітчизняних користувачів ЗІЗОД [19, 20].

У дослідженні для визначення антропометричних розмірів осіб брали участь 300 осіб. Серед учасників було 220 чоловіків і 80 жінок. Вік учасників (20–57 років) – відповідає віку більшості працюючих в Україні різними за віковими групами (20 – 30 р., 30 – 40 р., 40 – 50 р., 50 – 60 р.).

В табл. 2.8 наведені середні результати вимірів основних антропометричних характеристик обличч чоловіків і жінок, які необхідні для проектування і перевірки ЗІЗОД. Найбільш впливовими на коефіцієнт підсосу (підсмоктування) за смугою обтюрації вважаються довжина і ширина обличчя, а також довжина губ. Діапазон довжини обличчя перевірених осіб склав 98,5 мм до 143,2 мм, ширини – від 131,3 мм до 164,9 мм.

Таблиця 2.8 – Результати вимірів розмірів обличчя, мм

Розмір	Чоловіки (220)	Жінки (80)	Всього (300)
Вік 20 – 30			
GONI	128.2±9.1	119.1±9.1	126.4±10.1
ZYGO	142.3±8.9	132.3±6.0	141.5±8.9
NOSEBRTH	30.7±1.9	27.6±3.3	29.0±3.6
LIPLGTHH	50.4±3.7	44.0±3.7	47.7±4.8
MENSELL	123.1±8.4	119.2±5.8	119.8±7.8
NOSEPRH	47.3±4.5	41.2±3.0	44.7±5.0
MSNL	22.1±2.7	21,4±2.2	22.3±2.6
Вік 30 – 40			
GONI	130.2±7.1	121.1±8.9	128.4±9.2
ZYGO	144.3±8.9	135.3±6.4	144.5±7.97
NOSEBRTH	32.7±1.5	29.6±4.1	32.0±4.4
LIPLGTHH	51.4±2.5	46.0±6.7	48.7±5.1
MENSELL	123.1±7.9	117.2±7.6	119.8±6.6
NOSEPRH	48.9±5.5	45.2±3.0	46.6±4.3
MSNL	23.1±2.7	22.4±2.2	22.9±3.1
Вік 40 – 50			
GONI	134.2±9.2	125.1±9.1	130.4±10.1
ZYGO	146.2±9.5	137.3±6.0	146.5±8.9
NOSEBRTH	39.7±2.9	35.6±3.3	38.0±3.6
LIPLGTHH	55.4±3.7	49.0±3.7	52.7±4.8
MENSELL	122.1±7.4	117.2±5.8	119.8±7.8
NOSEPRH	49.3±4.5	43.2±3.0	47.7±5.0
MSNL	23.1±2.7	21.4±2.2	22.4±2.6
Вік 50 – 60			
GONI	134.2±9.5	125.1±10.15	131.4±10.1
ZYGO	147.2±8.9	138.3±6.0	145.5±9.9
NOSEBRTH	39 ± 0.3	35 ± 0.3	37 ± 0.4
LIPLGTHH	49 ± 0.5	44 ± 0.4	49 ± 0.5
MENSELL	122.1±8.4	116.2±6.5	119.8±7.8
NOSEPRH	49.3±4.5	43.2±3.0	47.7±5.0
MSNL	25.5 ± 1.6	24.5 ± 1.3	23.3 ± 1.7

Вибір кількості випробувачів рекомендується проводити відповідно від розподілу антропометричних параметрів обличчя по ділянках (до 10 % - 2 випробувача; до 15 % - 3 випробувача і до 20 % - 4 випробувача). На рисунку 2.12 наведено кількість випробувачів, яких необхідно підібрати для проведення перевірки ЗІОД.

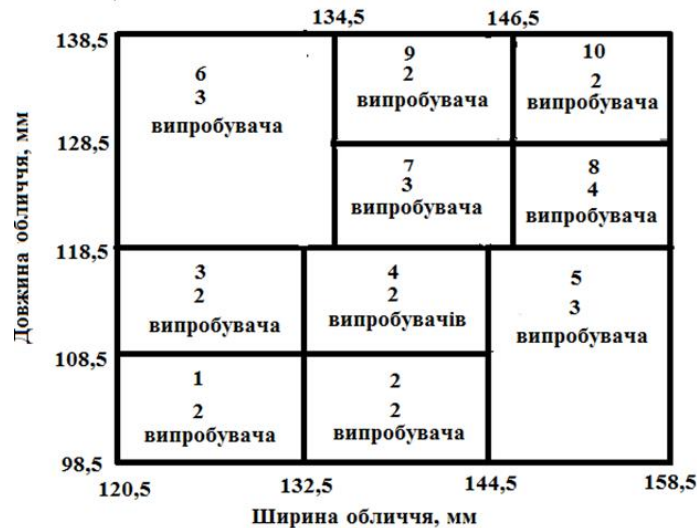


Рисунок 2.12 - Спеціальна таблиця для підбору випробувачів з перевірки ЗІЗОД

Висновки до розділу 2

1. За результатами аналізу діючих державних стандартів України визначено, що до показників якості ЗІЗОД, які характеризують захисні та ергономічні властивості, відносять: коефіцієнт проникання фільтра, коефіцієнт підсосу повітря, стійкість до займання, стійкість до запилення доломітовим пилом, вміст діоксиду вуглецю, опір диханню, коефіцієнт проникності протиаерозольного фільтра та інші [21].

2. Запропоновано метод з визначення коефіцієнта підсмоктування тест-аерозолію на добровольцях за смугою обтюраторії півмаски з урахуванням величини сили натягу стрічок наголів'я респіратору, за рахунок використання спеціального гнучкого датчику Conductive Rubber Cord Stretch Sensor, виконаного у вигляді еластичного шнура, електричний опір якого при розтягуванні змінюється лінійно.

3. Запропонований швидкий метод оцінки щільності прилягання півмаски до обличчя з використанням термографування поверхні обтюратора який дозволяє за рахунок обробки і порівняння зображення з еталонним знімком смуги обтюраторії розрахувати коефіцієнт щільності прилягання півмаски до обличчя з урахуванням сили натягу наголів'я та визначити коефіцієнт захисту ЗІЗОД.

4. Для уникнення суб'єктивності при аналізі термограм під час проведення термографічного дослідження щільності прилягання обтюратора до обличчя

запропонований швидкий метод оцінки щільності прилягання півмаски до обличчя з використанням термографування поверхні смуги обтюрації, який після відповідної обробки зображення і порівняння із заданими умовами, дозволяє засобами математичного середовища Matlab розрахувати коефіцієнт щільності прилягання ЗІЗОД до обличчя з урахуванням сили натягу наголів'я.

5. Розроблено порядок перевірки відповідності ЗІЗОД вимогам Технічного регламенту ЗІЗ в умовах виробництва, де склад шкідливих речовин в повітря відповідає функціональному призначенню ЗІЗОД.

6. Розроблено метод з визначення коефіцієнта проникання фільтрувальних матеріалів, який необхідний для організації їх правильного вибору для забезпечення відповідності запланованим показникам якості.

7. Розроблено методику перевірки механічної міцності ЗІЗОД з метою подальшого визначення параметрів, які регламентуються стандартами України.

8. Розроблено таблицю для підбору випробувачів з перевірки ЗІЗОД з метою підвищення достовірності результатів випробувань.

Основні результати дослідження опубліковані у [8, 9, 21]

Література до розділу 2

1. ДСТУ EN 529:2006. *Засоби індивідуального захисту органів дихання. Рекомендації щодо вибору, використання, догляду і обслуговування. Настанова (EN 529:2005, IDT).*
2. ДСТУ EN 149:2017. *Засоби індивідуального захисту органів дихання. Протиаерозольні фільтри. Вимоги, випробування, маркування.* К.: Держспоживстандарт, 2017. 24 с.
3. Наумов М.М., Голінько В.І., Наумов М.М., Чеберячко С.І., Радчук Д.І. *Дослідження захисної ефективності вітчизняних одноразових протипилових респіраторів за європейськими стандартами.* *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2011. № 5. С. 118 – 121

4. Эннан А.А., Шнейдер В.Г., Байденко В.И., Миронов А.А. *Взаимосвязь между защитной эффективностью и общим давлением респираторов* Безопасность труда в промышленности. 1994. № 11. С. 11–12.
5. Миронов Л.А. *Значение подсоса загрязненного воздуха в подмасочное пространство фильтрующих респираторов и методы его обнаружения*. Рабочая одежда. 2002. Т. 3, № 15. С. 15-21.
6. EN 149:2001+A1:2009. (Main). «Respiratory protective devices. Filtering half masks to protect against particles. Requirements, testing, marking.
7. Luinenburg D.M., Mullins E.H., Danisch S.G., Nelson T.J. *Evaluation of a Quantitative Fit Testing Method for №95 Filtering Facepiece Respirators*. Am. Ind. Hyg. Ass. J. 2003. Vol. 64, N 4. P. 480–486.
8. Эннан А.А., Чеберячко С.І., Книш І.М. *Щодо визначення щільності прилягання напівмасок до обличчя*. V Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика». Херсон, 13-15 вересня 2018. С. 71-74.
9. Патент України на корисну модель UA 127920, МПК G01N 21/31, G01N 21/35, G01N 21/88. *Спосіб візуалізації місць нещільного прилягання напівмасок до обличчя*. Эннан А.А., Чеберячко С.І., Книш І.М., Хома Р.Є., Абрамова Н.М. № u201802701; заявл. 16.03.2018, опубл. 27.08.2018, Бюл. № 16.
10. Coffey C.C., Lawrence R.B., Zhuang Z., Campbell D.L., Jensen P.A. and Myers W.R. *Comparison of five methods for fit-testing №95 filtering-facepiece respirators*. Appl. Occup. Environ. Hyg. 2002. Vol. 17, N 10. P. 723–730.
11. Luinenburg M.D., Mullins H.E., Danisch S.G., Nelson T.J. *Evaluation of a Quantitative Fit Testing Method for №95 Filtering Facepiece Respirators*. Am. Ind. Hyg. Ass. J. 2003. Vol. 64, N 4. P. 480-486.
12. Han D., Xu M., Foo S., Pilacinski W., Willeke K. *Simplified Pressure Method for Respirator Fit Testing*. Am. Ind. Hyg. Ass. J. 1991. Vol. 52, N 8. P. 305–308.
13. Janssen L.L., Luinenburg M.D., Mullins H.E., Nelson T.J. *Comparison of Three Commercially Available Fit-Test Methods*. Am. Ind. Hyg. Ass. J. 2002. Vol. 63, N 6. P. 762–767.

14. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB*. М.: Техносфера, 2006. 616 с.
15. Besl P.J., McKay N.D. *Method for Registration of 3-D Shapes*. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. 1992. Vol. 14, N 2. P. 239-256.
16. Lei Z., Yang J., Zhuang Z., Roberge R. *Simulation and evaluation of respirator faceseal leaks using computational fluid dynamics and infrared imaging*. Ann. Occup. Hyg. 2013. Vol. 57, N 4. P. 493-506.
17. Эннан А.А., Абрамова Н.Н. *СИЗОД: что предлагает производитель. Как выбрать средство индивидуальной защиты органов дыхания в зависимости от условий производства*. Охрана труда. 2011. № 11. С. 46-47
18. Zhuang Z., Coffey C.C., Barry Ann R. *The effect of subject characteristics and respirator features on respirator fit*. J. Occupational Env. Hyg. 2005. Vol. 2, N 12. P. 641–649.
19. Coffey C.C., Lawrence R.B., Zhuang Z., Campbell D.L., Jensen P.A., Meyers W.R. *Comparison of five methods for fit-testing N95 filtering facepiece respirators*. Am. Ind. Hyg. Ass. J. 2002. Vol. 17, N 10. P. 723–730.
20. Groce D., Guffey S., Viscusi D.J. *Three-dimensional facial parameters and principal component scores: Association with respirator fit*. J. Int. Soc. Resp. Prot. 2010. Vol. 27, N 1. P. 1–15.
21. Еннан А.А.-А., Абрамова Н.М., Чеберячко С.І., Книш І.М. *Щодо вибору ефективних фільтрувальних респіраторів*. VI Міжнародна науково-практична конференція “Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика”. Херсон, 11-14 вересня 2019. С. 127-128.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЙ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ПРОТИПИЛОВИХ ТА ПРОТИГАЗОВИХ ПІВМАСОК З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ЗД-МОДЕЛЮВАННЯ

3.1. Теоретичні засади конструювання фільтрувальних респіраторів

Противилові та протигазові фільтруючі респіратори (ПФР) – основний широко використовуваний засіб захисту від повітряно-крапельних або повітряно-пилових аерозолів різного походження (пил, дим, туман) та токсичних газів і парів, які надходять до органів дихання людини інгаляційним шляхом. Їх застосування стримує зростання профзахворювань (бронхітів та пневмоконіозів), найбільш поширених серед робітників всіх галузей промисловості [1-3].

Аналіз результатів дослідження ефективності [4, 5] застосування ПФР у виробничих умовах дозволив зробити висновок, що у більшості випадків проникання забрудненого повітря у підмасковий простір відбувається крізь зазори по смузі обтюрації, які виникають через невідповідність її конфігурації антропометрії обличчя користувача [6].

На підприємствах гірничодобувної промисловості широке застосування завдяки простоті конструкції та можливості забезпечування високих захисних властивостей [7] отримали ПФР типу «Лепесток».

Результати випробувань, які були проведені на початку 2000-х на відповідність вимогам безпеки європейських стандартів сприяли серйозному удосконаленню конструкції моделі ПФР, що розглядається [8,9]: по-перше, замінено зовнішній фільтруючий шар, по-друге, збільшена площа обтюратора, по-третє, змінена система кріплення [10].

Вдосконалений ПФР отримав і нову назву – «СК 200» або «Алина» і успішно пройшов сертифікацію на відповідність вимогам НД [11] як ПФР FFP2. Однак дослідження практичного використання ПФР в умовах гірничодобувного підприємства виявило необхідність створення більш ефективного ПФР з каркасом, що дозволяє і забезпечити можливість змінення розмірів каркаса [12, 13].

Розробка може бути виконана у 4 етапи:

- аналіз умов експлуатації фільтруючих протипилових респіраторів
- вимірювання антропометричних розмірів обличчя робітників та побудова 3D-моделі макета обличчя
- розробка 3D-моделей каркаса півмаски ПФР;
- лабораторні випробування макетів ПФР.

Перший етап включає в себе аналіз умов експлуатації ПФР для ідентифікації його відповідному типу і класу ЗІЗОД для подальшого підбору фільтруючих матеріалів [14]. На цьому етапі складається технічне завдання та визначаються основні вимоги до конструкції та матеріалів.

Необхідно вирішити основне завдання – вибрати фільтрувальні матеріали із заданими технічними характеристиками. Діаметр волокон, щільність упакування, необхідність наявності електростатичного заряду на поверхні волокон, товщина фільтруючого шару визначаються виходячи з величини необхідного часу захисної дії, умов праці, вмісту аеродисперсних часток в повітрі тощо. Для цього використовуються відомі залежності, які описують процес фільтрування [15–18]

Як відомо, ізолювання підмаскового простору фільтрувального респіратора призводить до того, що майже все забруднене повітря (за винятком тієї кількості, яка надходить через підсмоктування) проходить через фільтри. Там воно послідовно очищується спочатку від аерозольних частинок, а потім від газів і/або парів шкідливих речовин. Цей процес називається «фільтрування».

Умовно процес фільтрування аерозолів можна розділити на два етапи. Перший пов'язаний з наближенням частинок до волокон фільтруючого матеріалу, а другий полягає в утриманні частинок на поверхні волокон. В реальних умовах другий етап фільтрування аерозолів реалізується за рахунок адгезії твердих частинок. При цьому практично виключається можливість їх відривання з поверхні волокон. Отже, визначальне значення при фільтруванні аерозолів відіграє перший етап. Тому більш детально обговоримо основні закономірності уловлювання частинок тонкодисперсних аерозолів протиаерозольним фільтром.

Процес уловлювання аерозолів можна описати мінімум шістьма механізмами захоплення частинок волокнами фільтруючих матеріалів: відсіювання, зачеплення, дифузійний, інерційний, електричний і гравітаційний механізми.

Відсіювання. При ньому усі частинки радіусом, котрий перевищує половину відстані між волокнами, повністю затримуються їх лобовим шаром незалежно від швидкості фільтрування (рис. 2.4).

Зачеплення призводить до захоплення волокнами усіх частинок, що рухаються в потоці, при цьому радіус яких більше мінімальної відстані цих ліній від поверхні волокон. У цьому випадку, як показано в роботі [14], відповідний коефіцієнт захоплення аерозольних частинок у віяловій моделі залежить від радіусів та щільності пакування волокон, але не залежить від швидкості фільтрування.

Третій механізм – дифузійний, обумовлений тепловою дифузією аерозольних частинок та, як наслідок, їх випадковим зіткненням з волокнами [14]. У цьому випадку не існує кінцевої межі відстані до будь-якого з волокон, з котрого аерозольні частинки у принципі можуть його досягти, та відповідний відрізок d_D на рис. 3.1 відіграє, таким чином, роль лише уявного прицільного еквівалента.

Четвертий механізм – інерційний, обумовлений зсувом аерозольних частинок з кінцевою масою під дією інерційної сили з викривлених поблизу волокна ліній потоку [19].

П'ятий механізм – електричний, обумовлений електричними силами тяжіння між волокнами та аерозольними частинками. Тут можливі три випадки взаємодії: заряд-зарядне, коли частка та волокно заряджені різнополярно або уніполярно та притягуються або відштовхуються кулонівською силою; заряд-дипольне, коли заряджена або частка, або волокно, і тоді заряджений об'єкт своїм електричним полем індукує у незарядженому диполь та притягує його і, нарешті, диполь-дипольне, коли незаряджені частинки та волокно знаходяться у зовнішньому електричному полі, що індукує в обох об'єктах диполі, які притягуються один до одного. Оскільки аерозольні частинки частіше за все або не заряджені, або

заряджені відносно слабо, а сильно заряджені взагалі зустрічаються рідко, то для зазвичай сильно заряджених фільтрувальних матеріалів, наприклад, матеріалів ФП, найбільш типовою ситуацією є суперпозиція другого й третього випадків, коли диполі на частинках та волокнах індуктуються сумарним зовнішнім полем зарядів матеріалу, а сила тяжіння даної частинки до найближчого волокна залежить не тільки від сумарного зовнішнього поля, але й від поля заряду волокна [20]. При такій складній суперпозиції полів отримати аналітичним способом вираз для відповідного коефіцієнта захоплення аерозольних частинок не вдається. Тут можливі лише наближені оцінки асимптотичного характеру, отримані, наприклад, в роботі без урахування сумарного заряду волокон, але тільки для ізолювального циліндричного волокна, обтічного потенційним тиском [21].

Шостий механізм – гравітаційний, обумовлений зсувом аерозольних частинок з лінії потоку газу під дією сили тяжіння.

За одночасної дії описаних вище механізмів фільтрації аерозольних частинок результуючий коефіцієнт їх захоплення волокнами являє собою складну суперпозицію його складових. У першому наближенні її можна представити у вигляді суми дії механізмів відсіювання, зачеплення, дифузійного, інерційного, електричного та гравітаційного та деяких поправок або інтерференційних членів, що враховують неадитивний характер доданків, в першу чергу для тих механізмів фільтрації, котрі забезпечують основний внесок до загального ефекту. Врахування цих поправок являє собою дуже великі труднощі та можливе, у кращому випадку, для двох одночасно діючих механізмів захоплення.

Експериментально теоретичне обґрунтування віялової моделі для різних фільтрувальних матеріалів перевірялося в роботі [22] та спеціально для фільтрувальних матеріалів ФП – у роботах [23 - 25]. У всіх випадках виміряні та вираховані для цієї моделі значення коефіцієнтів захоплення аерозольних частинок та гідродинамічного опору у широкому діапазоні умов відрізнялася на один й той же постійний множник. Ця різниця для коефіцієнтів захоплення повністю усувалася, якщо замість радіуса волокон використовували його гідродинамічний еквівалент та вимірний опір фільтрувального матеріалу.

З вищесказаного витікає, що обумовлені різними механізмами результуючі коефіцієнти захоплення та фільтрації є складними та різнохарактерними функціями радіусів волокон, щільності їх пакування, в'язкості газового середовища та швидкості фільтрації. В різних областях цих параметрів роль конкретних механізмів та їх відносний внесок до сумарного ефекту є істотно неоднаковими [26].

Важливу роль в процесах стаціонарної фільтрації відіграють початковий гідравлічний опір та проникність волокнистих фільтруючих матеріалів, їх нерівномірності та товщина.

В роботі [27] показано, що при коливанні товщини фільтруючого матеріалу між двома рівновірогідними дискретними рівнями, його гідродинамічний опір опиняється завжди нижче, ніж в рівномірного, з тією ж середньою товщиною.

Встановлено [28], що чим вище якість мікроструктури волокнистого матеріалу, тим сильніше на нього діє негативний вплив на фільтруючі властивості нерівномірності товщини і тим більше жорсткими повинні бути вимоги до цієї характеристики.

На фільтруючі властивості волокнистих матеріалів можуть впливати флуктуації щільності пакування волокон та й взагалі будь-які деформації мікроструктури, що викликають локальні відхилення швидкості фільтрації від її середньої величини. На жаль, цим важливим для високоефективної очистки практичним додатком теорії фільтрації не приділяється досі належної уваги.

В роботі [29] детально викладені відомості про вплив тиску, температури та хімічного складу газового середовища на коефіцієнти захоплення та фільтрації.

При практичному використанні фільтруючих матеріалів важливу роль відіграє вплив на гідродинамічний опір і проникність накопиченого осаду аерозольних частинок. Для твердих та рідких часток цей вплив має різний характер.

Накопичення твердих частинок на волокнах та в просторі між ними, хоч і не призводить до руйнування та змінення взаємного розташування останніх, тим не менш, викликає у часі істотні зміни початкових мікроструктурних характеристик

фільтруючих матеріалів та відповідно до їх проникності та опору. Очевидно, що, якщо строк експлуатації матеріалу значно перевищує час зберігання у ньому початкового електричного заряду або матеріал взагалі не заряджений, то його проникність в масштабі цього строку тільки знижується та її тимчасовий прогноз не є першочерговим завданням. Найбільш практичний інтерес тут являє прогноз безперервно зростаючого гідродинамічного опору матеріалу, що лімітує врешті його пиломісткість та тимчасовий експлуатаційний ресурс (строк служби).

Як показано в роботах [16, 30], накопичення у волокнистому фільтруючому матеріалі осаду твердих аерозольних частинок по формі, що наближена до сферичної, відбувається у дві стадії. Спочатку вони утворюють на поверхні волокон порівняно компактний шар, збільшуючи тим самим їх ефективний радіус та підвищуючи щільність пакування. Потім в порах між волокнами та на поверхні матеріалу утворюється та наростає по товщині пухкий та проникний для потоку газу шар, що складається з самих частинок.

Гідродинамічний опір фільтруючих матеріалів після первинного запилення є сумою гідродинамічного опору при первинному запилення та опору, що наростає на лобовому шарі вже запилених волокон пухкого проникного осаду самої пилу.

На жаль, для аерозольних частинок радіусом більше 1 мкм, в захопленні котрих превалює механізм зчеплення, використовуючий на першій стадії запилення модель циліндра, що потовщується, не підтверджується експериментом. Причиною тут є, як правило, не компактний, а скоріше дендритного характеру осад, проникний для граничних ліній потоку, що визначають коефіцієнт захоплення таких частинок.

Ця модель була використана для прогнозу впливу на гідродинамічний опір та проникність волокнистих фільтруючих матеріалів накопичуваного у них осаду аерозольних частинок [31].

Наведений у роботі [32] аналіз результатів порівнянь з експериментом показав, що, хоча модель з проникною оболонкою й точніша, ніж з непроникною, описує процес нестационарної фільтрації твердих аерозольних частинок вона тим не менш має істотні обмеження, які пов'язані з труднощами визначення щільності

пакування їх осаду. У результаті поки ще неможливо в повній мірі відмовитися від необхідності визначати у кожному конкретному випадку експлуатаційний ресурс фільтруючих матеріалів експериментально.

Процес накопичення рідких часток досліджений дуже слабо через складності та багатофакторності явищ, що відбуваються у цьому процесі. Осаджування на волокнах рідких частинок частіше за все призводить до руйнівного характеру впливу на мікроструктуру волокнистих матеріалів, що визначає його фільтруючі властивості. При контакті з волокном, рідкі частинки під дією капілярних сил розтікаються по його поверхні, утворюючи суцільну плівку, котра поступово потовщується та починає мігрувати у місця перетину волокон, стягуючи їх та знижуючи тим самим однорідність мікроструктури матеріалу. У результаті, за ступенем накопичення рідини гідродинамічний опір матеріалу збільшується, у той час як коефіцієнт фільтрації безперервно падає. Руйнівний вплив рідини прискорюється та може призвести до фатального результату, якщо речовина волокон у ній набухає або помітно розчиняється.

У протилежному випадку, рідина, що необмежено накопичується на волокнах, в решті решт починає видавлюватися потоком газу на тильну поверхню матеріалу, стікати під дією капілярних сил та власної ваги на його краї та, якщо дозволяє конструкція очисного пристрою, може бути виведена з нього назовні та зібрана. При цьому об'єм рідини в матеріалі, також як і його гідродинамічний опір та проникність, сягають постійних лімітів, рівень та час досягнення яких визначається швидкістю фільтрації та концентрацією аерозольних частинок. Такий режим «самоочищення» волокнистого матеріалу, хоч і відрізняється від типових режимів високоефективної фільтрації у багато разів більшими, ніж початкові, опором та проникністю, тим не менш, без сумніву, являє собою окремий практичний інтерес. Детально це питання розглянуто у роботах [33].

Вивчені функціональні зв'язки між характеристиками мікроструктури та фільтруючими властивостями волокнистих матеріалів дозволяють вирішувати дві взаємно зворотні практичні завдання – пряме завдання прогнозу гідродинамічного опору та проникності для заданих мікроструктур, та зворотну задачу вибору

характеристик мікроструктур під задані напір та ефективність уловлювання аерозольних частинок. Критерії оптимізації характеристик мікроструктури волокнистих матеріалів можуть бути найрізноманітнішими: мінімальний гідродинамічний опір, що визначає витрати енергії на фільтрацію, мінімальні проникність, габарити та вартість газоочищувального пристрою або максимальні його продуктивність та тимчасовий ресурс, а також ціла низка інших, часто суперечливих вимог, для задоволення яких доводиться шукати компромісні рішення.

При застосовуванні цих матеріалів для високоефективної очистки у нормальних умовах, що зазвичай здійснюється при швидкостях фільтрації близько кількох см/с (впродовж часу, значно більшого, ніж час зберігання в матеріалі електричного заряду, якщо він є), визначальними механізмами захоплення частинок волокнами є дифузія та зачеплення. У цьому випадку сумарний коефіцієнт захоплення та фільтрації частинок радіусом 0,15 мкм волокнами радіусом менше 1 мкм при його зменшенні істотно збільшується [34]. Однак матеріал з таких волокон має недостатню механічну міцність. У цьому випадку прийнятий компроміс досягається сумішшю волокон з різними радіусами, наприклад 0,15 мкм та 1 мкм. У такій композиції більш тонкі волокна забезпечують матеріалу підвищення коефіцієнта фільтрації, а більш прості-зберігають його прийнятну механічну міцність. Характеристики подібних вітчизняних і зарубіжних матеріалів надані в табл.3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Головні фізичні, мікроструктурні і макроскопічні характеристики вітчизняних волокнистих фільтруючих матеріалів для високоефективної очистки

Марка фільтруючого матеріалу	Маса одиниці площі, г/м ²	Середній діаметр волокна, мкм	Розвине навантаження, Н	Щільність, г/м ²	Опір повітряному потоку, Па	Коефіцієнт проникання (випробування з парафіновою оливою при лінійній швидкості 1 см/с)	Технічні Умови
Елефлен	45 –50	2,5	11	45÷50	3÷5	6÷9	ТУ У 25513947.010-2000
НФП	40 –45	2,0	10	40÷45	4÷6	6÷8	ТУ У 13486464.003-96

Найбільш широко асортимент і основні властивості волокнистих матеріалів ФП і їх аналогів надано у [35].

Таблиця 3.2 – Головні фізичні, мікроструктурні і макроскопічні характеристики зарубіжних волокнистих фільтруючих матеріалів для високоефективної очистки.

Фірма, країна	Марка матеріалу	Речовина волокон	Середній діаметр/модуль, мкм	Товщина, Н, мм	Щільність пакування, β	Стандартний опір (ΔP), (мм в.с.), с/см	Проникність, К, К*	Література
Полотноутворення								
Шнейдер-Поелман	HYN	Целюлоза і азбест	0,35/3,5	1,6	–	20	10^{-4}	[23,24]
Роздування розплаву								
Росія	M20	Скло	0,2–0,3	10	<1	3,6	10^{-2}	[25]
Артур Літл, Хурлб. Папір, США	AEG і HGP	Скло	0,2–0,3	3,2	1–3	5,0	10^{-3}	[23,24]
Hollings-worth & Vose	Meltblown	Поліпропілен	3,0	0,5	3,0	0,7	10^{-3}	–
Паперова технологія								
Різні фірми, країни	Фільтрувальний картон	Целюлоза і азбест	0,04/4,0	1,5	8	8,0	10^{-4}	[24]
Ватман (Великобританія)	№1	Целюлоза	5,5	0,16	11	18	–	[23]
	№90		4,3	0,18	19	0,8	–	[23]
	GF/F	Скло	0,7	0,44	14	16	–	[23]
	GF/F		0,9	0,25	14	6,0	–	[23]
США	HEPA		0,63	1	7	7,5	10^{-5}	[24]
США	ULPA		0,37	1	8	8,0	10^{-6}	[24]
Росі	ФСВ		0,3-0,6	1-2	4-8	1,0-2,0	10^{-3}	[25]
Електроформування з полімерних волокон								
Росія, Естонія	ФПП-70-0,5	Хлорований поліетилен	4,0	1,0	2	0,5	0,03*	[26]
	ФПП-15-1,5	поліетилен	1,5	0,5	3	1,5	10^{-4} *	
	ФПП-100-0,3	Полістирол	7,0	1,0	2	0,3	0,05*	

Існують технологічні прийоми підвищення коефіцієнта фільтрації без втрати міцності, наприклад, вирощування на поверхні волокон більш тонких, ніж вони самі, «вусів», що утворюють проникну оболонку.

Для підвищення пилоємності волокнистого матеріалу використовується інший прийом – змінюють радіус волокон матеріалу та щільність їх упакування по глибині таким чином, щоб розподілення по ній осаду аерозольних частинок було якомога більш рівномірним. Для вибору оптимальних характеристик такого структурованого по глибині волокнистого матеріалу вирішують відповідну варіаційну задачу, використовуючи зазвичай чисельні методи. Детальніше це питання розглянуто у [36].

Другий етап включає вимірювання антропометричних розмірів обличчя користувачів для розробки 3D-моделі обличчя, які являють собою основу для проектування каркасу півмаски ПФР. В більшості випадків цю процедуру проводять з використанням фотографій, які зроблені за певних умов (заданої

роздільної здатності, та фіксованої за допомогою лінійки для масштабування відстані від об'єкта фотографування (рис. 3.2). На отриманій фотографії визначали контури об'єкта для розпізнавання (рис. 3.3), включаючи пошук координат обличчя; проводили попередню обробку і нормалізацію критичних точок; вираховування інформативних ознак (головні компоненти, локальні бінарні шаблони, градієнт яскравості, відстані між антропометричними точками тощо) і проводили визначення розмірів за ключовими точками (рис. 3.4), які дозволяли визначити ширину голови у чола, ширину обличчя, ширину обличчя по кутах нижньої щелепи, довжину обличчя, відстань між бровами, ширину голови, висоту носа, ширину носа коло рта, ширину перенісся, довжину носа (рис. 3.5).

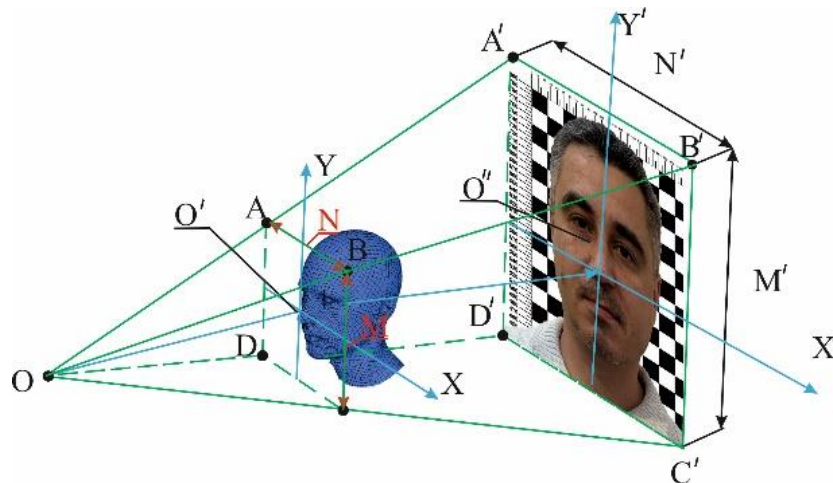
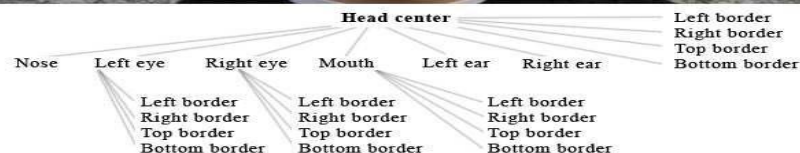


Рисунок 3.2 – Система/Процедура розпізнавання розмірів обличчя людини.



Рисункок 3.3 – Формування ієрархічного дерева: профіль обличчя, вузлів і підвузлів

Далі формували типорозміри моделей голів (рис. 3.6). Для цього використовували відомий підхід для розрахунку комплексних показників – так званих компонент PC1 і PC2 [37, 21].

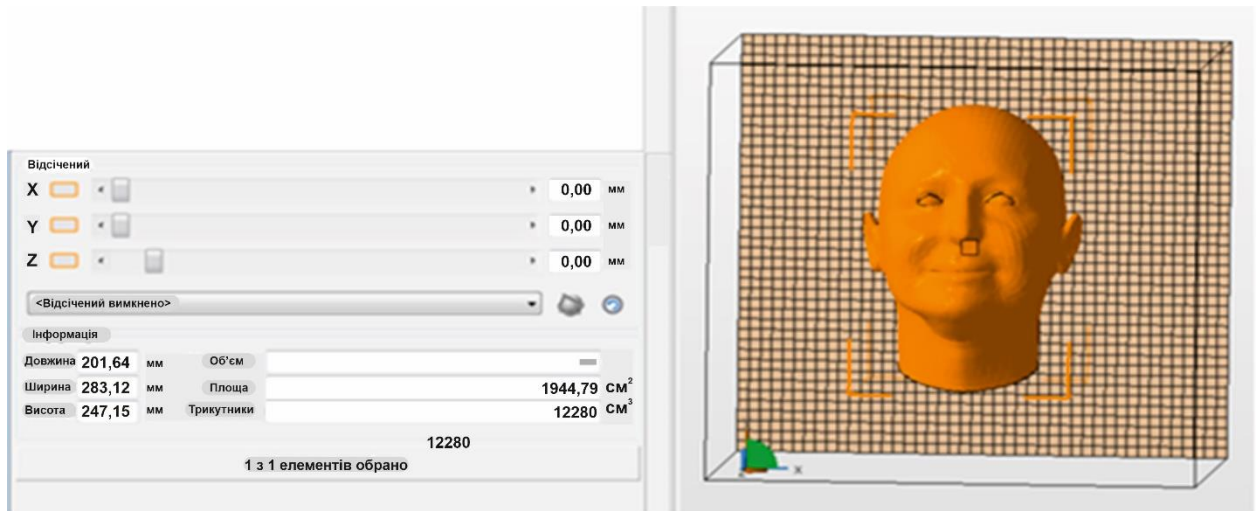


Рисунок 3.4 – Приклади моделей голів, отриманих з цифрових фото за допомогою розробленої програми

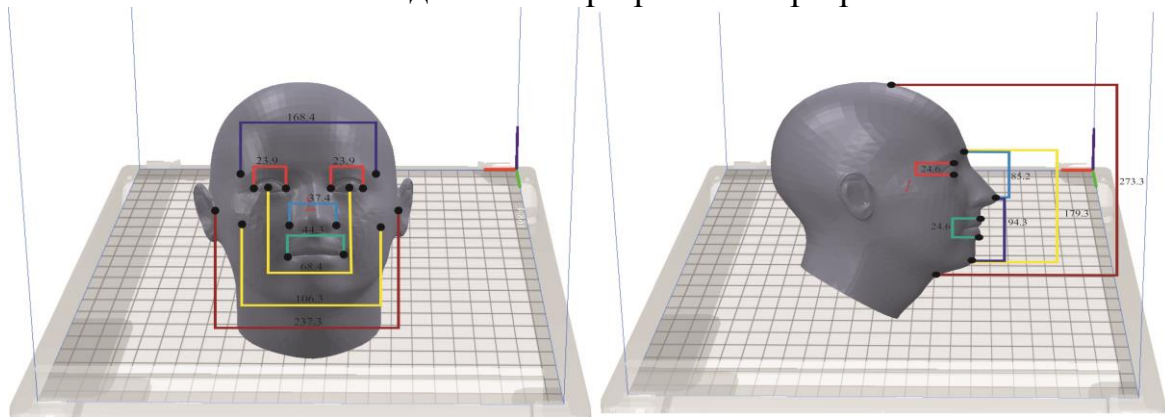


Рисунок 3.5 – Визначення розмірів голови за цифровими моделями

З цією метою за допомогою програми з ідентифікації розмірів обличчя з фотографій були проаналізовані антропометричні дані 200 осіб для визначення 19-ти антропометричних розмірів, які представлено на рис. 3.6. Результати обробки антропометричних параметрів за фотографіями наведені у додатку А. Результати статистичної обробки антропометричних розмірів обличчя, були зведені у табл. 3.2. Встановлені дані були використані для розробки нової параметричної панелі з урахуванням 10 розмірів голови та обличчя. Для цього за допомогою методу головних компонент були встановлені коефіцієнти поліномів PC1 і PC2 за наступною формулою [38]:

$$PC = \chi R^T$$

де R - коефіцієнт, який визначає силу впливу значень певного розміру обличчя у формуванні справжніх відповідей; χ - вихідні дані певних розмірів.

Для визначення значень коефіцієнта R , встановлювали кореляційні взаємозв'язки між шириною обличчя та іншими антропометричними параметрами, виходячи з наведених у додатку основних розмірів обличчя. Результати розрахунків наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Усереднені антропометричні розміри цифрових моделей голів для побудови удосконаленої параметричної панелі

Розміри обличчя	Типорозмір				
	Мале	Довге і вузьке	Середнє	Коротке і широке	Велике
Ширина обличчя у лобній площині	109.1±1.2	115.4±1.6	119.5±1.5	126.5±2.2	131.4±2.1
Ширина обличчя за кутами нижньої щелепи	105.8±1.9	113.5±3.2	118.2±2.1	123.4±2.8	127.5±2.6
Ширина носа	14.5±1.3	16.6±1.1	18.7±1.2	21.4±1.1	25.1±0.8
Довжина губ	34.5±1.2	38.4±1.8	42.5±1.4	47.2±1.9	53.3±2.4
Довжина обличчя	112.2±1.8	123.5±2.1	132.1±2.4	140.2±2.2	151.2±3.4
Довжина носа	30.2±1.4	34.2 ±1.3	38.3 ±1.8	43.5±1.6	47.7±1.5
Відстань від підборіддя до перенісся	92.2±1.1	98.2±1.2	104.5±1.4	110.5±1.1	115.2±1.2
Висота випуклої частина носа	11.1±0.7	13.2±0.4	15.1±0.8	17.2±0.6	19.1±1.1
Відстань між бровами	92.1±0.8	100.1±1.1	105.2±1.3	110.8±1.8	117.2±1.3
Відстань між зірницями очей	52.5±0.8	55.3±0.6	58.3±0.5	61.5±0.7	66.2±1.1

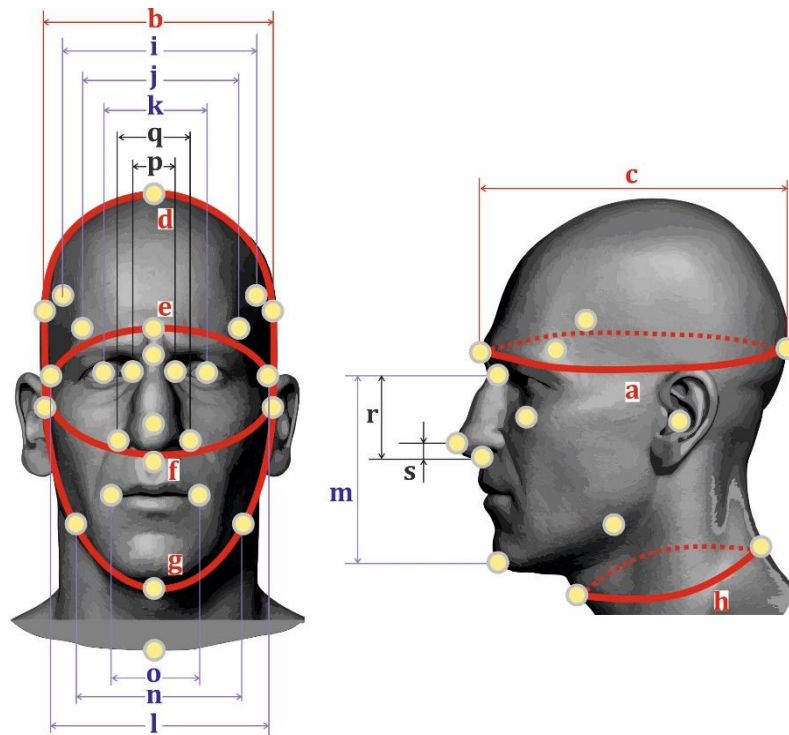
Кожний розмір обличчя вносив свій власний внесок у визначення значень істинних відповідей, відповідно до заданих коефіцієнтами. При визначенні коефіцієнтів було припущено, що довжина і ширина обличчя більшою мірою впливають на параметри каркасу півмасок.

Отже, значення коефіцієнтів встановлювали за формулою [39]

$$R = (\sigma_1^2; \sigma_2^2; \sigma_3^2; \sigma_4^2; \sigma_5^2; \sigma_6^2; \sigma_7^2; \sigma_8^2; \sigma_9^2; \sigma_{10}^2) \quad (3.1)$$

де x_i – власні значення емпіричної матриці, які розташовані в порядку убавання, з урахуванням їх кратності.

Результати обрахунків компонент РС1 і РС 2 наведені в табл. 3.5.



Контур голови

a - окружність голови
b - ширина голови
c - довжина голови
d - дуга, що проходить через обидва
 козелка уха і лінію волосся

Контур обличчя

i - максимальна фронтальна ширина
j - мінімальна фронтальна ширина
k - відстань між зрочками очей
l - ширина найширшої частини обличчя

Контур носа

p - ширина основи носа
q - ширина носа

e - дуга, що проходить
 через лоб

f - дуга, що проходить
 через лоб

g - дуга, що проходить
 через лоб

m - відстань між подборіддям
 до точки, що розташована під
 носом

n - бігоніальна ширина

o - відстань між зрочками очей

r - довжина носа

s - розмір виступаючої частини носа

Рисунок 3.6 – Основні розміри облич, які оброблялись для побудови нової параметричної панелі

Тоді формула для розрахунку основних компонент буде мати наступний вигляд

$$PC1 = 0,61031 \times ШЛ + 0,236541 \times ВБ + 0,766379 \times ВЗ + 0,555771 \times ШЩ + \\ + 0,513814 \times ДО + 0,569554 \times ВП + 0,712282 \times ДГ + 0,425061 \times ШС + \\ + 0,463221 \times ДС + 0,12251 \times ВН$$

$$PC2 = 0,03237 \times ШЛ - 0,43492 \times ВБ - 0,30921 \times ВЗ - 0,08446 \times ШЩ + \\ + 0,52609 \times ДО - 0,06075 \times ВП - 0,29440 \times ДГ - 0,07716 \times ШС + \\ + 0,72465 \times ДС + 0,24631 \times ВН$$

Таблиця 3.4– Коефіцієнт кореляції між розмірами обличчя

Розміри обличчя	Коефіцієнт кореляції між розмірами (r)	Стандартне відхилення
Ширина обличчя у лобній площині	0,83	0,018
Відстань між бровами	0,69	0,019
Відстань між зірницями очей	0,66	0,016
Ширина обличчя за кутами нижньої щелепи	0,66	0,015
Довжина обличчя	0,61	0,019
Відстань від підборіддя до перенісся	0,44	0,012
Довжина губ	0,43	0,017
Ширина носа	0,42	0,013
Довжина носа	0,41	0,014
Висота випуклої частина носа	0,4	0,019

Таблиця 3.5– Результати розрахунку компонент

Розміри обличчя	Позначення	PC1	PC2
Ширина обличчя у лобній площині	ШЛ	0,641031	0,03237
Відстань між бровами	ВБ	0,236541	-0,43492
Відстань між зірницями очей	ВЗ	0,766379	-0,30921
Ширина обличчя за кутами нижньої щелепи	ШЩ	0,555771	-0,08446
Довжина обличчя	ДО	0,513814	0,52609
Відстань від підборіддя до перенісся	ВП	0,569554	-0,06075
Довжина губ	ДГ	0,712282	-0,29440
Ширина носа	ШС	0,425061	-0,07716
Довжина носа	ДС	0,463221	0,72465
Висота випуклої частина носа	ВН	0,12251	0,24631

Для побудови параметричної панелі необхідно визначити осі еліпса, який буде описувати розподіл облич. Для цього визначали середнє значення основних компонент за визначеними розмірами [40]:

$$PC1 = 284.0120; SD = 11.1093.$$

$$PC2 = 21.5114; SD = 6.4502.$$

Далі визначмо розмір осей (рис. 3.7)

$$x = PC1 - 284.0120$$

$$y = PC2 - 21,5114$$

$$a = 2.54 \times 20.109353 = 51.077757$$

$$b = 2.54 \times 6.450230 = 16.383584$$

$$c = 1.175 \times 20.109353 = 23.628490$$

$$d = 1.175 \times 6.450230 = 7.579020$$

$$r1 = \sqrt{(x^2)/(a^2) + (y^2)/(b^2)}$$

$$r2 = \sqrt{(x^2)/(c^2) + (y^2)/(d^2)}$$

де a – велика ось основного еліпса; b – мала ось основного еліпса; c – велика ось другорядного еліпса; d – мала ось другорядного еліпса; $r1$ і $r2$ – координати для визначення дільниці, що характеризує певні антропометричні розміри обличчя.

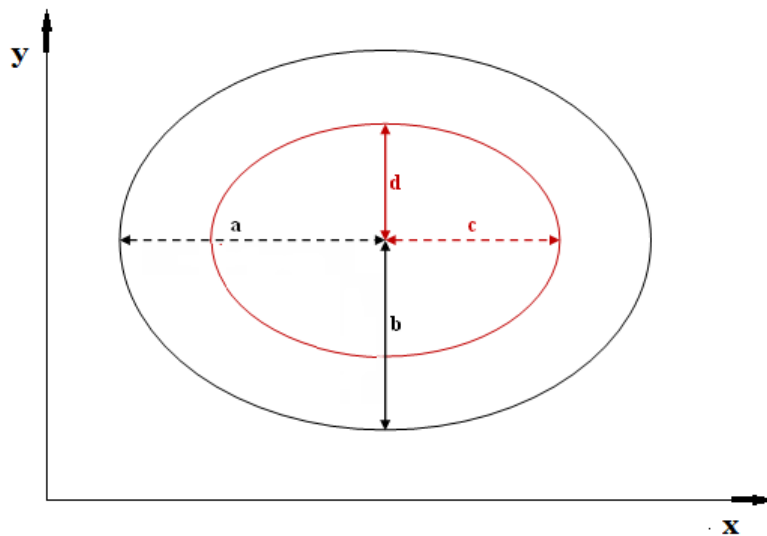


Рисунок 3.7 – Параметрична панель для розподілу розмірів обличчя

В результаті була побудована нова параметрична панель, загальний вигляд якої наведено на рис. 3.8.

Третій етап – проектування каркаса півмаски ПФР. Перетворення цифрового зображення обличчя, заданого в тривимірній системі координат, в параметри індивідуальної півмаски ПФР представлено в формі алгоритму [41]:

$$F_0 = \prod (F_n), \quad (3.2)$$

де F_0 – форма обличчя, яка має певні значення координат x, y, z для точок $1, 2, 3, \dots, n$, які визначають її параметри в тривимірній системі координат; F_n – форма півмаски ПФР, яка обумовлена зміненням початкових значень координат x, y, z ; \prod – знак перетворення в результаті процесу проектування півмаски ПФР.

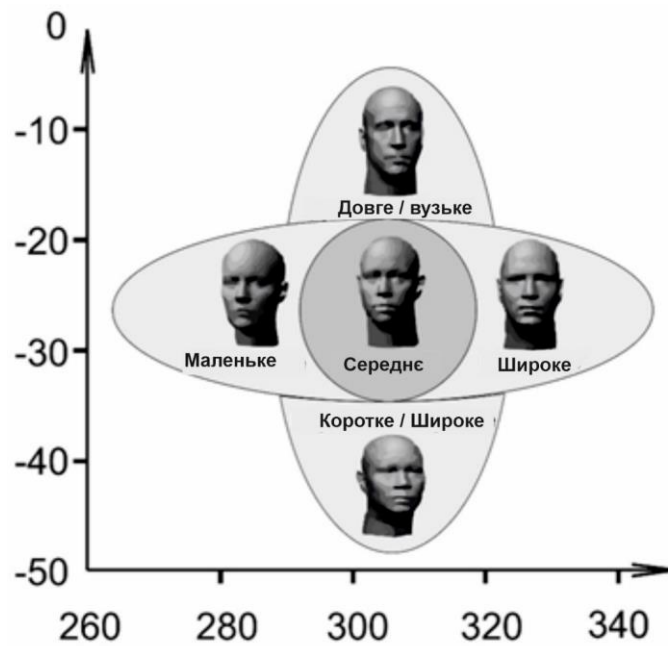


Рисунок 3.8 – Нова параметрична панель з розподілом облич на 5 типорозмірів

Алгоритм, що розглядається складається з кількох етапів: формування контурів півмаски ПФР по висоті і довжині обличчя і визначення форми смуги обтюраторії; побудова форми півмаски ПФР з отриманою поверхнею обтюратора. Цей етап виконується зі сплайнів, за допомогою яких поступово формується каркас півмаски ПФР і з'єднуються основні елементи поверхні отриманої конструкції (рис. 3.9). Відмінною рисою запропонованої нової моделі каркаса є наявність декількох з'єднувальних елементів (рис. 3.10), які дозволяють змінювати розмір каркаса виходячи з розміру обличчя. В сукупності з розташуванням по периметру фільтруючого респіратора манжці, які сумісно з обтюратором утворюють канал, де розташовується резиновий шнур, стягування якого також сприяє поліпшенню щільності прилягання до обличчя.

Четвертий етап включає виготовлення макета півмаски ПФР та її тестування в лабораторних умовах на відповідність вимогам національних стандартів. Важливо при виготовленні каркаса ПФР оцінити його деформацію, від якої залежить величина площі фільтрації [42]:

$$S_{\text{раб}} = 2\pi \cdot (R - u) \cdot (L - u), \quad (3.3)$$

де R – радіус кульового сегмента (півмаски), м; u – величина деформації, м; L – довжина кульового сегмента (півмаски), м.

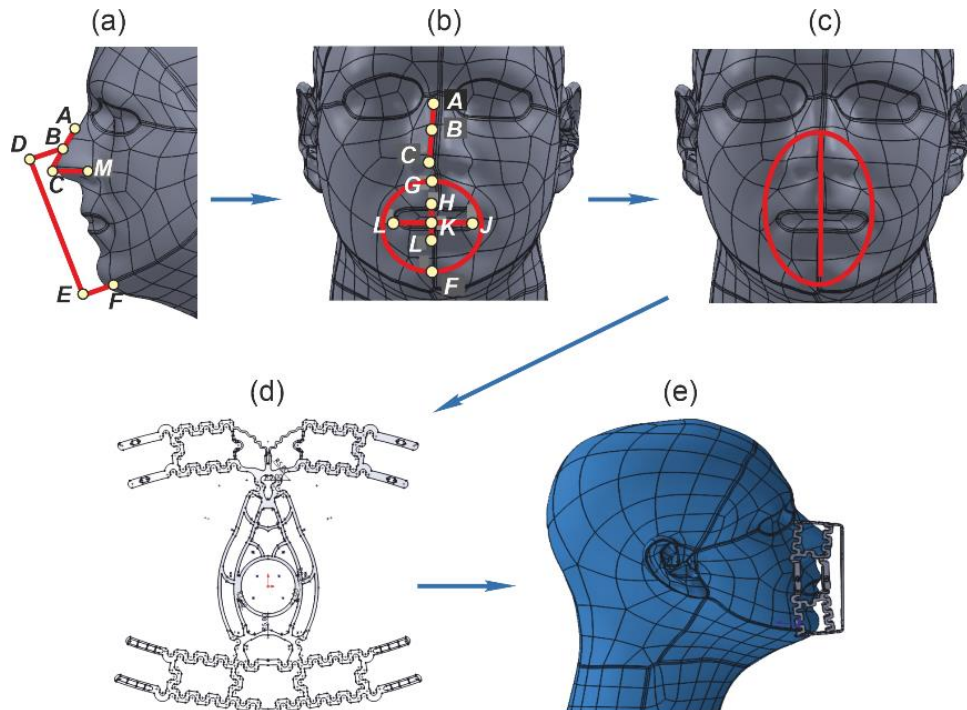


Рисунок 3.9 – Етапи розробки конструкції каркаса півмаски ПФР: загальний вигляд 3D-моделі голови (а); визначення контурів каркаса (б); ескіз каркаса (в); побудова каркаса (г); основні розміри каркаса (д); загальний вигляд заготовки каркаса (е)

Перепад тиску Δp пов'язаний з прогином оболонки в межах пружних деформацій залежністю [43]:

$$u = \frac{\Delta p \cdot 2E \cdot H}{a^2 \cdot (1 - \xi)}, \quad (3.4)$$

де E – модуль пружності матеріалу каркаса, Па; ξ – коефіцієнт Пуассона.

Модуль пружності задається типом матеріалів (табл. 3.6) з якого можна виготовити каркас.

Таблиця 3.6 – Характеристика матеріалів для друку каркасів півмасок [44]

Матеріал для 3D-друку каркасів півмасок	Температура плавлення	Модуль міцності	Модуль пружності
ULTEM 1010	216 °C	64 МПа (ось XZ) і 42 МПа (ось ZX)	2770 МПа (ось XZ) і 2200 МПа (ZX ось)
PC-ISO	133 °C	57 МПа	2000 МПа
Nylon	180 °C	43 МПа	1586 МПа
ABS-M30i	96 °C	31 МПа	2180 МПа
PPSF/PPSF	230 °C	55 МПа	2100 МПа
MED610	45-50 °C	50-65 МПа	75-110 МПа
PLA	49-52 °C	37 МПа	4 ГПа

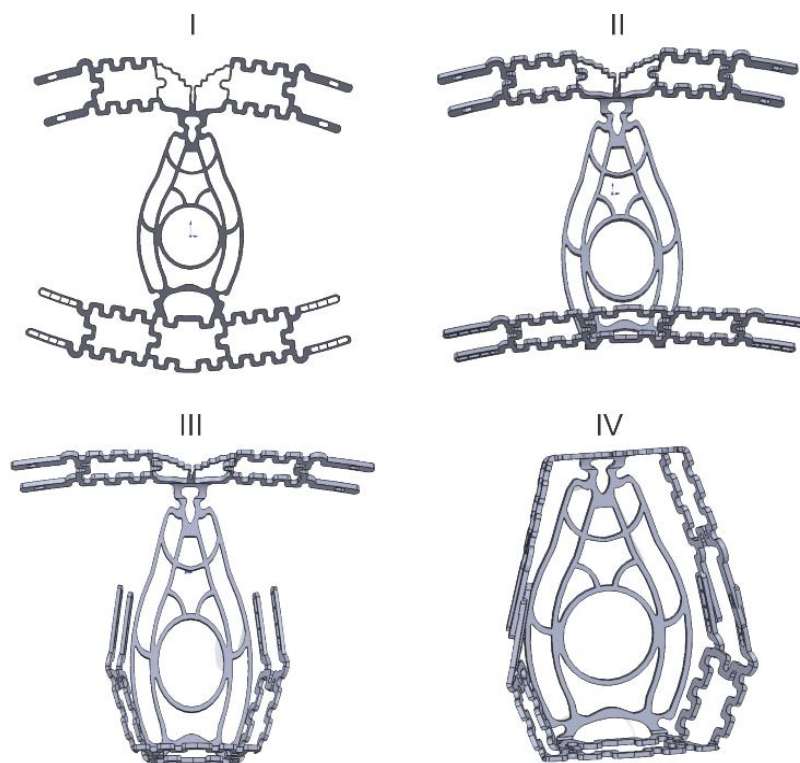


Рисунок 3.10 – Етапи збирання каркаса

В результаті проведеного аналізу характеристик різних матеріалів для друку на 3D-принтері [45], був обраний полімер полімолочної кислоти (ABS-M30i) з діаметром проволоки 1,75 мм. В якості фільтруючого матеріалу для виготовлення фільтра, який складається з трьох шарів матеріалу з різними параметрами, використовувався поліпропіленовий матеріал «Елефлен» ТУ У 25513947.010-2000 (виробник: компанія Стандарт м. Дніпро, Україна), характеристики якого наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Характеристики фільтруючих шарів матеріалів, які були використані при виготовленні ПФР

Основні параметри фільтруючих шарів	Шари		
	Перший	Другий	Третій
Середній радіус волокон a , мкм	7...10	2...3	5...7
Щільність упаковки волокон, β ,	0,06	0,03	0,05
Товщина фільтруючого шару, м	4	3	3

Четвертий етап – передбачає лабораторну перевірку захисних властивостей розроблених конструкцій

Оцінка щільності прилягання півмаски до обличчя складалась з чотирьох етапів (рисунок 3.11):

- поєднання 3D-моделі голови користувача, яка будується за сканованими даними з цифровою моделлю півмаски, що побудована за усередненими даними певної вибірки: для цього розбиваємо модель голови на декілька ділянок для подальшої оцінки прилягання обтюратора в кожній зоні, адже вони відрізняються пружністю м'яких тканин обличчя;
- визначення розмірів зон обличчя, які характеризуються однаковою пружністю ділянок, для цього проводимо деталізацію областей контакту півмаски з обличчям людини, що задається кількістю мінімальних елементів, які впливають на точність дослідження;
- встановлення параметрів сітки для деталізації областей дослідження, яка наноситься на моделі обличчя і півмаску, що передбачає визначення кількості сегментів на обличчі для аналізу та створення спрощеної контактної двовірної моделі на основі якої будемо встановлювати залежність ширини плями контакту від прикладених зусиль до поверхні півмаски;
- розрахунок площі контакту між півмаскою і обличчям для оцінки щільності прилягання через порівняння встановлених контактних плям.

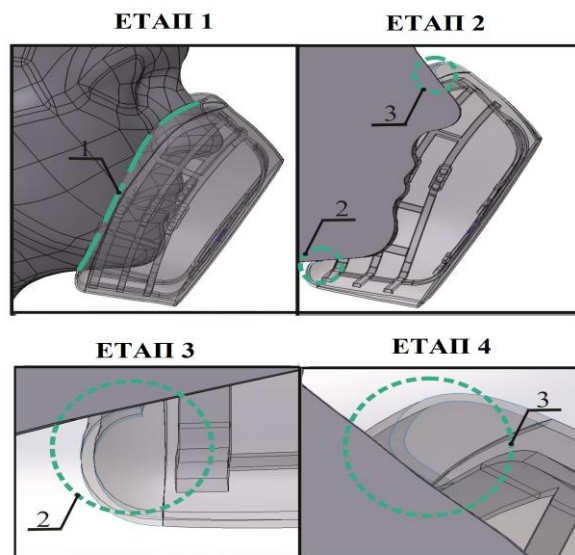


Рисунок 3.11– Етапи дослідження щільності прилягання півмаски до обличчя: 1 – поєднання моделей півмаски і обличчя; 2 – формування смуги обтюрції; 3 – оцінка площі контакту прилягання

Отже, у результаті проведеної роботи були встановлені та розглянуті основні етапи розробки ЗІЗОД. В подальшому приділимо більш детальну увагу проектуванню кожної складової частини півмаски: обтюратора, наголів'я і клапанної системи.

3.2. Розробка алгоритму виготовлення наголів'я з урахуванням даних 3D-моделей голів користувачів

Для створення умов управляючої взаємодії елементів системи «голова-півмаска» необхідно закласти базовий рівень динамічної відповідності між ними. Умовами для проектування даної системи є:

- забезпечення ступеню свободи руху підборіддя при розмові та визначення амплітуди відхилення нижньої щелепи голови;
- відсутність обмежень на переміщення граничних ділянок півмаски та аналогічних ділянок тіла, тобто зміщення відбуваються в єдиній системі.

З урахуванням переміщення домінуючих областей (перенісся, наголів'я, акулова зона), необхідно визначити граничні значення, які характеризуватимуть основне статико-динамічне положення та показники задовільного балансу півмаски в статиці, які забезпечують оптимальне значення щільності її прилягання до обличчя.

Методика перевірки взаємодії елементів системи «голова-півмаска» включає наступну послідовність дій:

- побудова ескізів наголів'я та визначення їх геометричних параметрів (товщини та довжини) для визначення оптимального місця контакту між обличчям та головою користувача і встановлення позиціонування півмаски на обличчі;
- розрахунок моделей наголів'я для півмаски при динамічних змінах в залежності від її типів; тобто необхідно, враховуючи антропометричні параметри голови у різних статичних положеннях, наприклад, при розмові, на основі методу накладання 3D-моделі півмаски на відповідну модель голови користувача

людини;

- визначення раціональних геометричних параметрів наголів'я для забезпечення щільності прилягання півмаски і мінімального тиску на голову користувача.

Перший етап передбачає розробку ескізних рішень, які дозволять визначити порядок розрахунку геометричних параметрів наголів'я. Для побудови ескізу визначалися ключові точки, для цього на виді зверху визначалися точки країв вуха і описується чотирикутник ABCD, потім визначаємо середину сторін AB та CD, як це показано на рисунку 3.16, та отримуємо точки E та F, через які проводимо лінію.

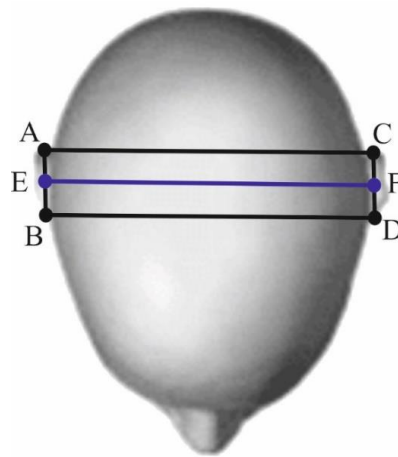


Рисунок 3.12 – Визначення початкових ключових точок

Наступний етап передбачає визначення середини відрізка лінії EF та проведення перпендикулярної лінії до маківки голови та краю носа, таким чином отримуємо перпендикулярну лінію HI, як наведено на рисунку 3.13. Для визначення крайніх точок геометрії наголів'я необхідно поділити лінії EG та GF навпіл та отримати точки J та K. Потім від точки I провести лінії через точки J та K до дуги, яка проходить через точки E, H, F (рисунок 3.14). У разі побудови трапеції виникає необхідність проведення дотичної лінії OP до точки G, до верхівки голови, яка повинна бути паралельна лінії EF (рисунок 3.15). Узагальнюючи всі методи, зводимо їх до трикутника, який має фіксовану висоту на основі довжини лінії HI, тобто при визначенні у нас $HV=0,18-0,34\%*$ довжину

лінії НІ. Окрім того можливо використовувати метод, якщо за ключові точки брати центр ока (приклад побудови наведений на рис. 3.16). Тобто дану систему можна розглянути як два прямокутні трикутники, звідси маючи розміри НІ визначаємо довжину лінії НV, потім за формулою (рис. 3.17).

$$LH = HV / \sin(\alpha),$$

де α – кут, який знаходиться в межах від 30^0 до 45^0 .

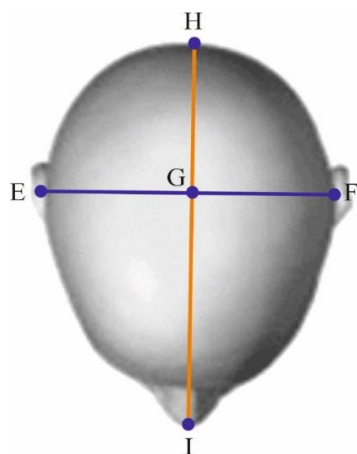


Рисунок 3.13 – Визначення центральної точки наголів'я

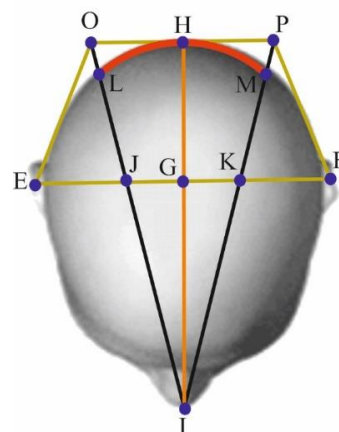


Рисунок 3.14 – Визначення точок перетину і отримання довжини наголів'я

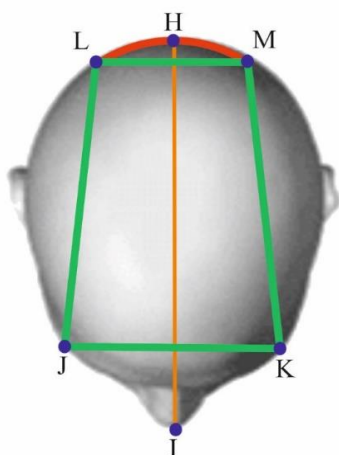


Рисунок 3.15 – Метод трапеції

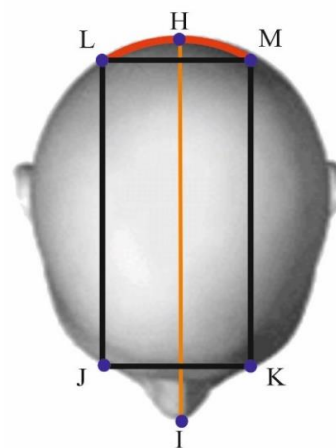


Рисунок 3.16 – Визначення траєкторії по ключовим точкам середини очей

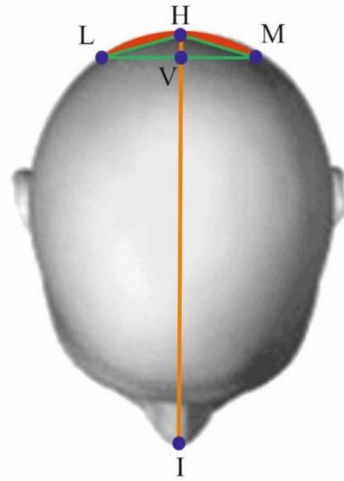


Рисунок 3.17 – Розрахунок довжини елементів кріплення наголів'я

Далі виникає необхідність визначення місця кріплення наголів'я на корпусі півмаски для чого скористаємось наступною схемою (рис. 3.18).

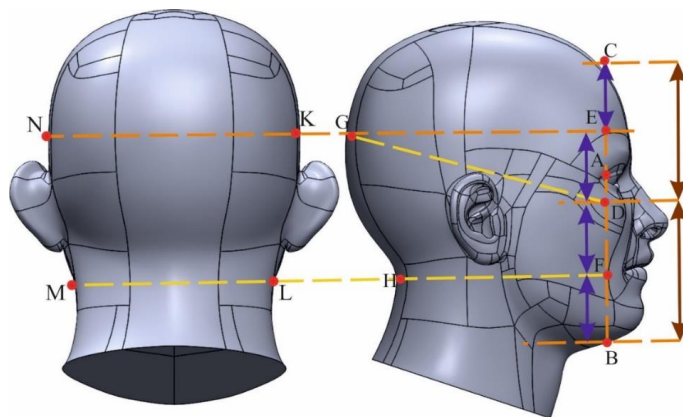


Рисунок 3.18 – Визначення точок для кріплення наголів'я

Для зменшення больових відчуттів на голові необхідно досягти однакового тиску на елементах кріплення наголів'я σ . Нехтуючи нерівномірністю розподілу цього тиску за площею контакту, його середні значення можна розрахувати за формулами:

$$\sigma = \frac{R}{S}; \quad \text{кПа,}$$

де S – площа контактної зони за стрічками наголів'я, м^2 .

Виходячи з наведеного порядку визначення антропометричних точок було розроблено декілька варіантів наголів'я. Спочатку, виходячи з наведеного вище

підходу визначались ключові антропометричні точки за якими прорисовували ескіз наголів'я (рис. 3.20).

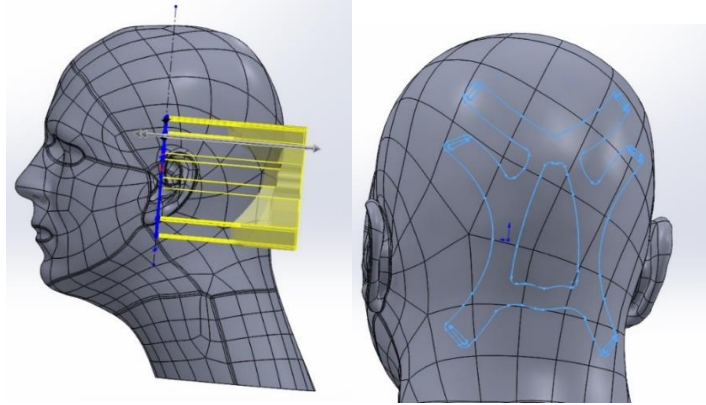


Рисунок 3.20 – Нанесення контурів наголів'я за ключовими антропометричними точками

Далі, виходячи з розмірів голови визначалась довжина смужок наголів'я з урахуванням параметрів еластичних стрічок для отримання відповідного зусилля, також було опрацьовано декілька різноманітних варіантів, які дозволяють забезпечити рівномірний розподіл зусилля на голову працівника від ваги півмаски з фільтрами (рис. 3.21), який потім детально прорисовувався для одержання тривимірного зображення (рис. 3.22). Кожний із запропонованих варіантів перевірявся ІСР-алгоритмом, який дозволяє зіставляти тривимірні поверхні S_1, S_2 .

Він заснований на мінімізації відстані і між точками цих поверхонь, які порівнюються як об'єкти лінійного простору $p(S_1, S_2)$, а ймовірність збігу представляє собою норму $\|S_1 - S_2\|$ в цьому просторі з урахуванням різниці між розмірами сіток побудови обличчя і півмасок, тоді площу збігу двох поверхонь можна оцінити за формулою:

$$(S_1, S_2) = k_{n1} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_1} (n_i^1, n_j^1) e^{-(c_i^1 - c_j^1)^2 / \sigma^2} + k_{n2} \sum_{i=1}^{N_2} \sum_{j=1}^{N_2} (n_i^2, n_j^2) e^{-(c_i^2 - c_j^2)^2 / \sigma^2} - 2k_{n1} k_{n2} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} (n_i^1, n_j^2) e^{-(c_i^1 - c_j^2)^2 / \sigma^2}$$

де N_1, N_2 – кількість точок у вихідних тривимірних поверхнях S_1, S_2 ; c_i – центроїд i -то трикутника; n_i – вектор нормалі до i -то трикутника, довжина якого

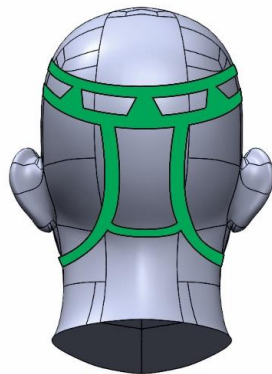
дорівнює площі цього трикутника; σ – площа поверхні трикутника; $k_{п1}$, $k_{п2}$ – коефіцієнт, який враховує невідповідність точок обличчя і півмасок.

Для визначення відповідності наголів'я півмасок використали спеціальний алгоритм, який складається з декількох кроків

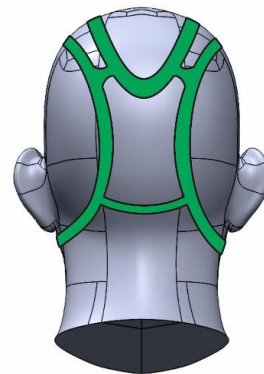
- визначення розмірів зон обличчя, які характеризуються однакою пружністю ділянок;
- встановлення параметрів сітки для деталізації областей дослідження, яка наноситься на моделі обличчя і півмаску;

розрахунок площі контакту між півмаскою і обличчям для оцінки щільності прилягання через порівняння встановлених контактних плям (рис. 3.23).

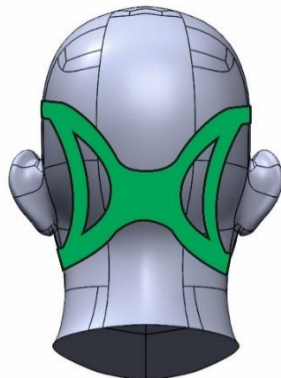
В табл. 3.8 наведені результати моделювання для визначення найбільш раціональної конструкції наголів'я.



Тип 1



Тип 2



Тип 3



Тип 4

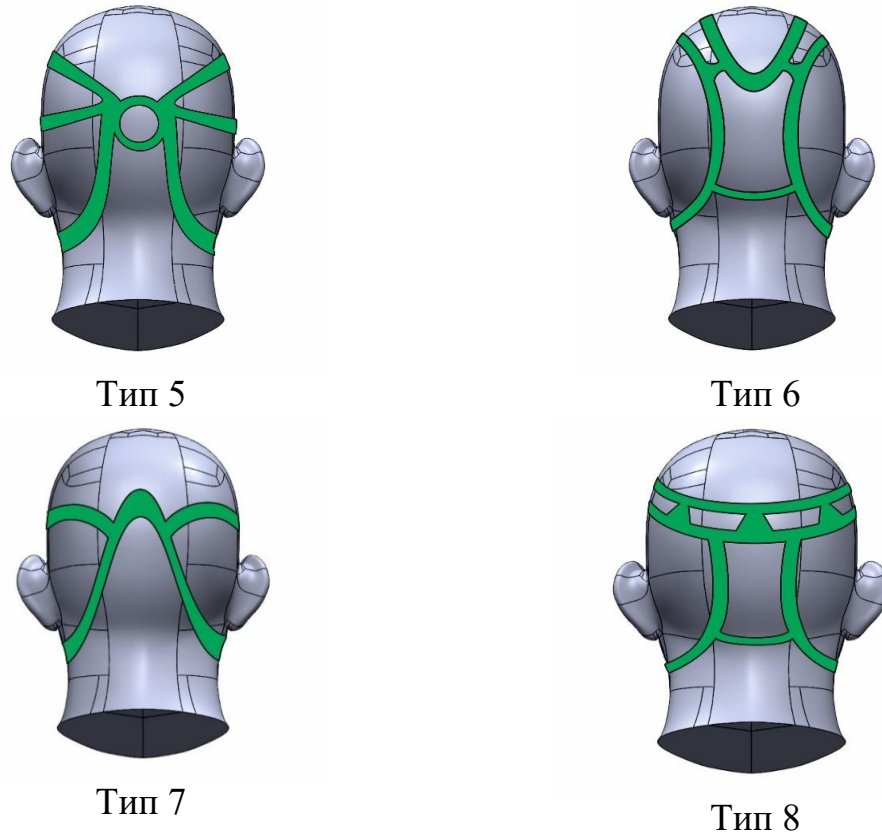


Рисунок 3.21 – Конструкції наголів'я для багаторазових респіраторів

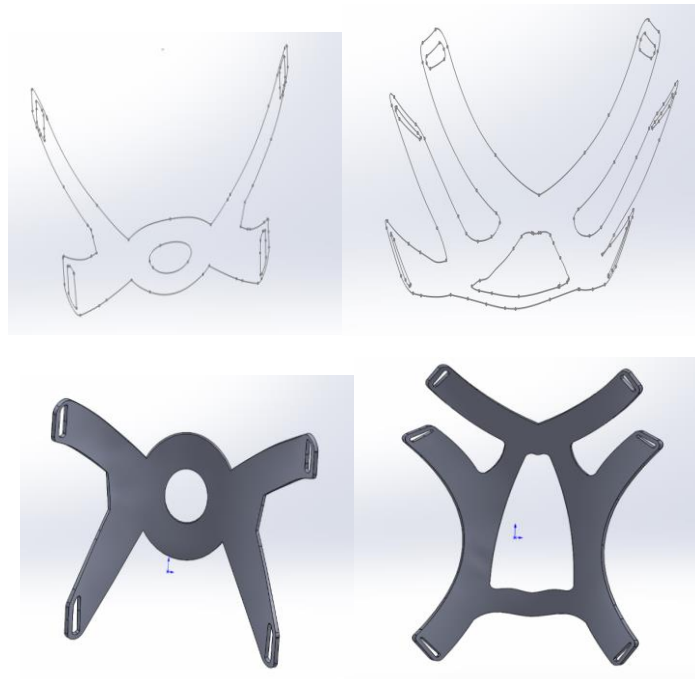


Рисунок 3.22 – Вигляд каркасів наголів'я

Таблиця 3.8 – Результати моделювання з поєднання наголів'я з головою користувача

Тип	Параметри	Площа	Величина	Величина	Зменшення величини
-----	-----------	-------	----------	----------	--------------------

конструкції	сітки наголів'я, шт	контакту з головою, см ²	зусилля, Н	тиску, Па	тиску по відношенню зі звичайною стрічкою, %
1	5000	19	5	263,2	57
2		15		333,2	46
3		24		208,3	66
4		21		238,1	61
5		17		294,1	52
6		15		333,3	46
7		14		357,1	42
8		21		238,1	61

У результаті проведеної роботи було запропоновано алгоритм проектування наголів'я фільтрувального респіратору, який за основу використовує ключові антропометричні точки, що визначаються за даними цифрової моделі.

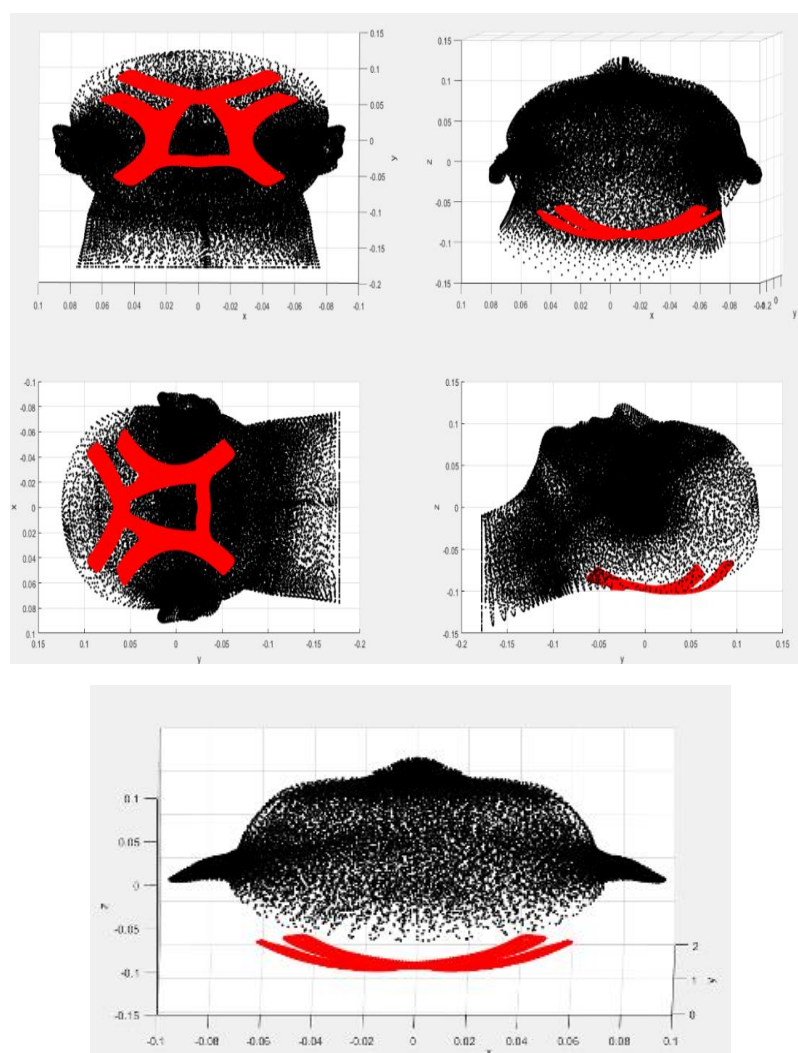


Рисунок 3.23 – Поєднання наголів'я з моделлю голови для визначення площі співпадіння та розподілу притискового зусилля

В подальшому було запропоновано декілька типів конструкції наголів'я, раціональність конструкції яких визначалась площею прилягання і величиною тиску на голову користувача.

3.3. Розробка конструкції фільтрувального протипилового респіратора

Для розробки конструкції каркасу використовували низку функцій, таких як кінематичні операції, гнуття, повороти, вирізи, що існують в САД-пакетах. Базовою операцією було проведення сплайн-ліній через визначені антропометричні точки на обличчі людини: середина носу, підборіддя, скулові точки. Для цього розмічаємо місцеположення ключових точок (визначаємо відстань між ними), що будуть формувувати каркас. На рис. 3.24 надано базові розміри каркаса, які в ході моделювання можуть змінюватися з метою підвищення ізолювальних властивостей. Основними критеріями, які забезпечать щільність по смузі обтюрації, – це її притискні зусилля до обличчя, які за рахунок каркаса повинні в залежності від зони притиснення формувати різну силу натиску, наприклад, в зоні перенісся повинно бути менше зусилля, ніж в скуловій зоні.

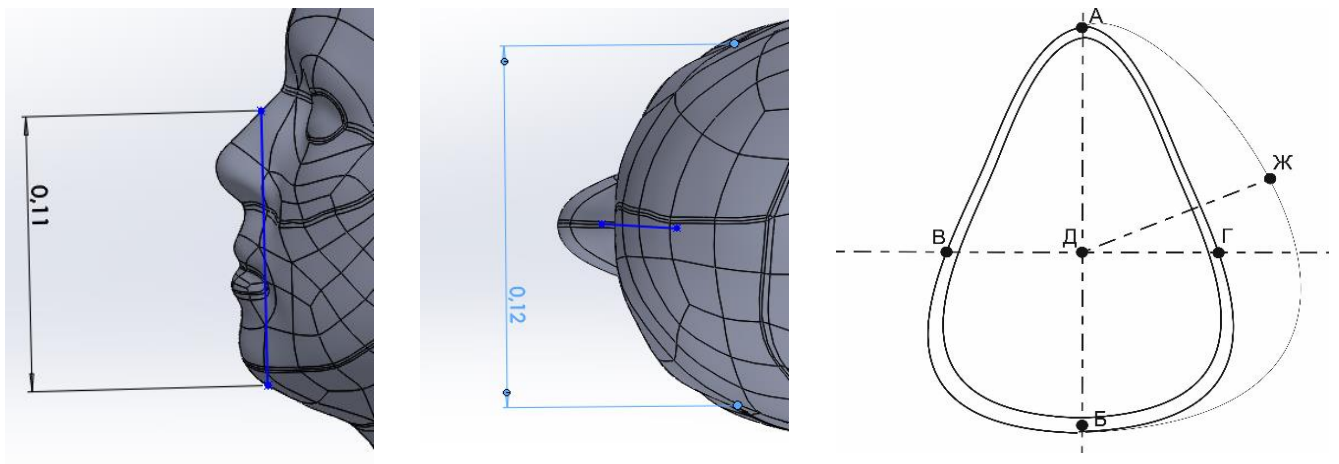


Рисунок 3.24 – Визначення довжини та ширини каркаса півмаски та ескіз смуги обтюрації.

Спочатку визначаємо контури смуги обтюрації, що дозволяє остаточно сформувати каркас. Встановлені геометричні розміри можуть накладати додаткові умови формування базових ескізів майбутнього каркаса. Для створення розгортки каркаса «розкриємо» отриману смугу обтюрації з урахуванням її динамічної прив'язки до перенісся і підборіддя. Далі формуємо середню частину каркаса. Головною умовою його створення є необхідність гнучкості в точках А та Б. Існує декілька варіантів форми каркаса (трапецієвидний, квадратний, напівкруглий, трикутний та овальний) з різними площами фільтрувальної поверхні і різним обмеженням поля зору. Вибираємо метод формування «квадрат», так як при його використанні досить легко визначити кут згину для формування каркаса (90 градусів). Для забезпечення поєднання необхідно враховувати радіус згину, наприклад, в діапазоні 3–5 мм, оскільки це впливає на кут згину верхньої і нижньої частини каркаса. В такому випадку для визначення розгортки каркаса потрібно провести додавання АБ+ДЖ+ДЖ, але оскільки нижню частину роблять більшою, а верхню – меншою, то ми пропонуємо проводити розрахунок висоти верхньої частини на 16% менше ніж верхньої. В такому випадку формула висоти матиме вигляд:

$$В= АБ+ДЖ+0,84ДЖ+2Д, \quad (3.6)$$

де Д – величина деформуючого радіусу, мм.

Ширина визначається відрізком ВГ. Оскільки на його величину впливають лінії згину, потрібно чітко обмежити умови розрахунку. В нашому випадку ширина каркаса визначається за формулою:

$$Ш=ВГ+2Д \quad (3.7)$$

Інколи, в конструкціях деформуючий радіус може бути різним, тому пропонуємо їх сумувати попарно. Оскільки каркас симетричний, можливо моделювати 1/2 каркаса (без отворів) як цілу модель, починаючи з ескізу та завершуючи боковими частинами (рис. 3.25, 3.26).

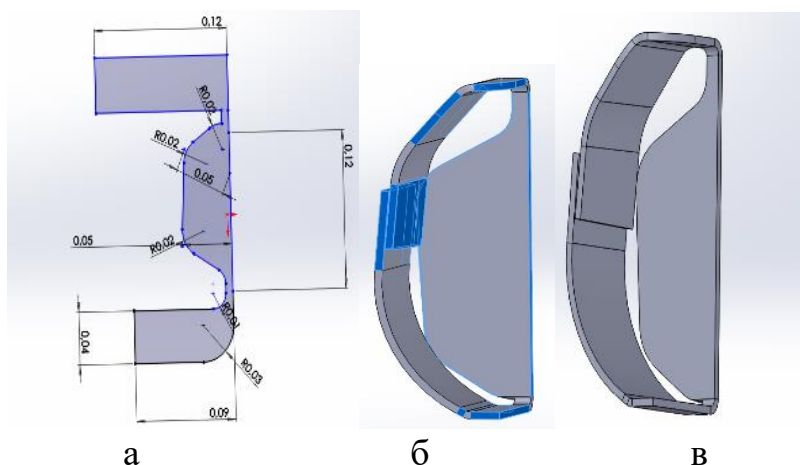


Рисунок 3.25 – Моделювання частини каркаса; а – ескіз; б – визначення місця та кута згину; в – отриманий результат.

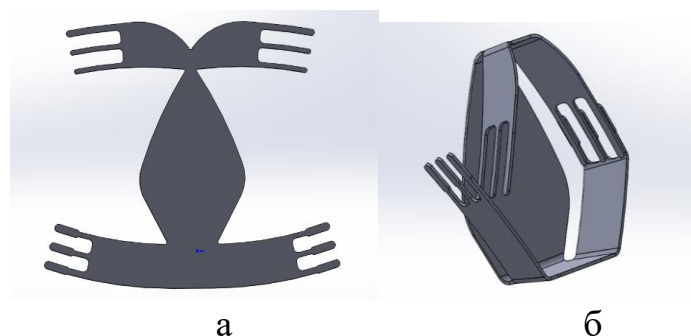


Рисунок 3.26 – Загальний вигляд моделі каркаса: а – розгортка каркаса; б – утворення об'ємної форми каркаса.

Наступною задачею є визначення місць згину каркаса, які при 3D-друкуванні повинні бути на 14–26% тоншими від діаметра інших елементів каркаса (рис. 3.27).

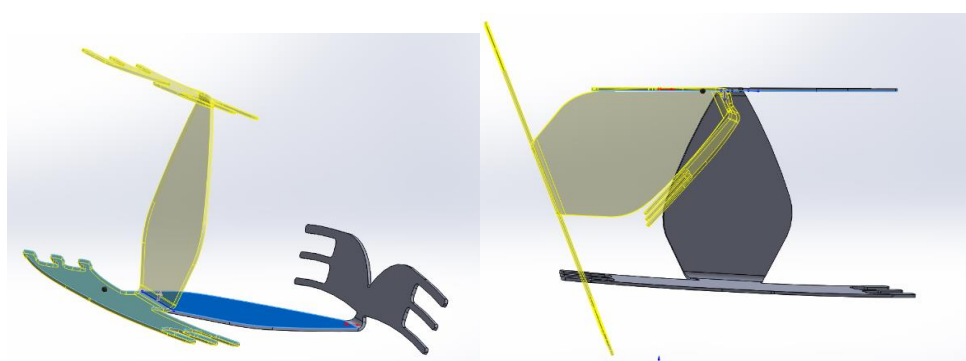


Рисунок 3.27 – Визначення місця згину каркаса.

Окрім того, для зменшення опору повітряного потоку та полегшення конструкції каркаса необхідно було розрахувати отвори та місце кріплення клапана видиху, вдосконалити елементи з'єднання каркаса в об'ємну форму, а

також зменшити товщину нижньої частини каркаса для підвищення гнучкості з метою забезпечення щільності прилягання (рис. 3.28, 3.29).

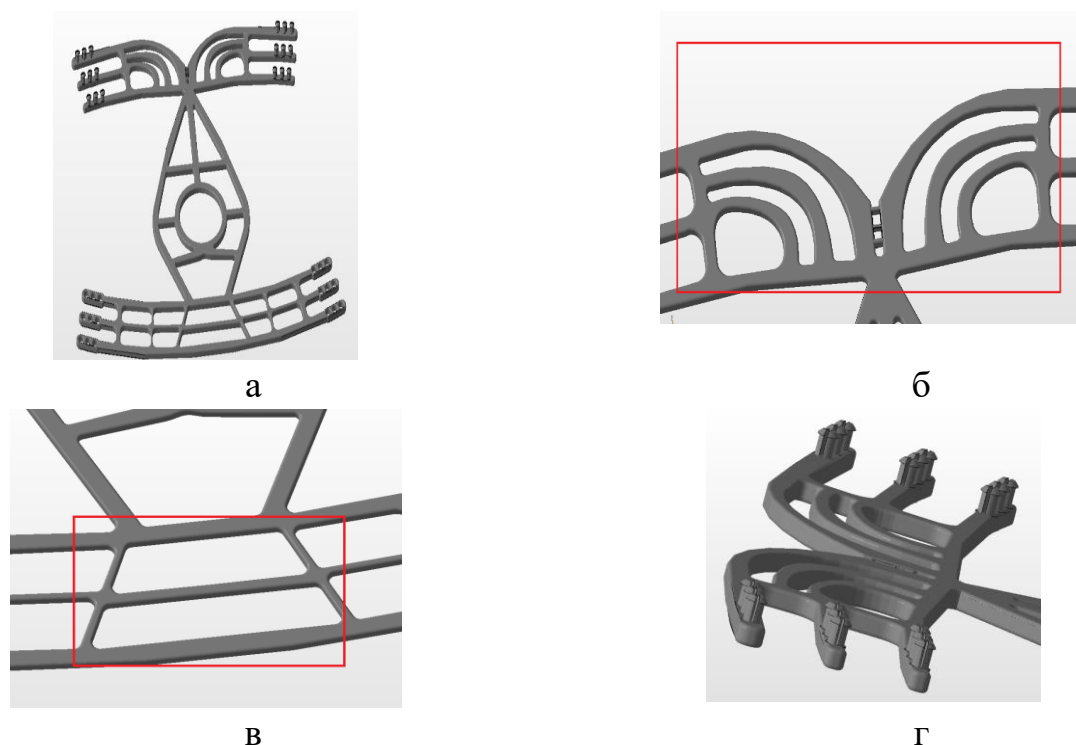


Рисунок 3.28 – Удосконалення каркаса для респіратора
 а – загальний вигляд каркаса, б – вдосконалення області перенісся,
 в – вдосконалення області підборіддя, г – система з’єднання в об’ємну форму

На рис. 3.30 надано стадії утворення об’ємної форми змодельованого каркаса. Отриманий каркас респіратора забезпечує:

- можливість зміни розміру обтюратора відповідно до розміру обличчя;
- врахування форми перенісся завдяки зменшенню товщини ребер, що забезпечує більшу гнучкість і збільшує щільність прилягання;
- відповідну міцність при використанні достатньої кількості ребер жорсткості;
- можливість монтажу вузла клапана видиху.

На рис. 3.31 наведено макет вузла клапана видиху, захисний екран якого суміщений з елементом кріплення, та креслення конструктивних елементів БФР, що виконані методом 3D-друку, які відповідають принципам, закладеним при розробці [48].

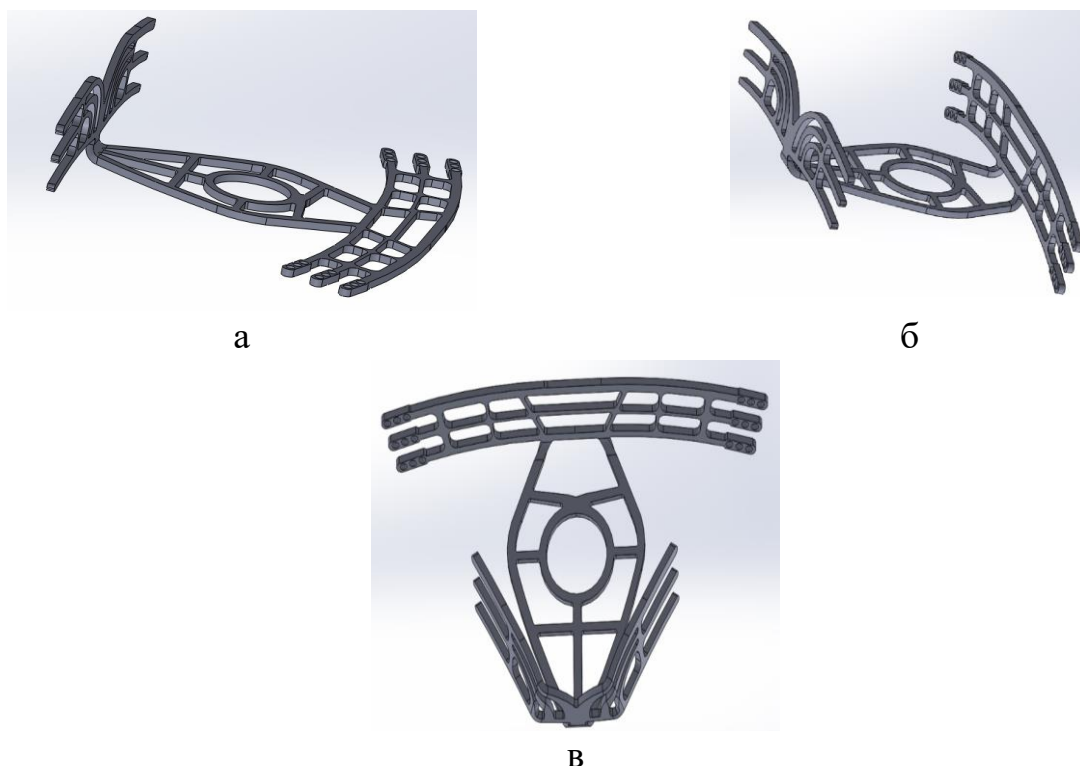


Рисунок 3.29 – Стадії утворення об’ємної форми каркаса: а, б – згинання по лініях згину верхньої та нижньої частини; в – утворення об’ємної форми за допомогою елементів з’єднання.

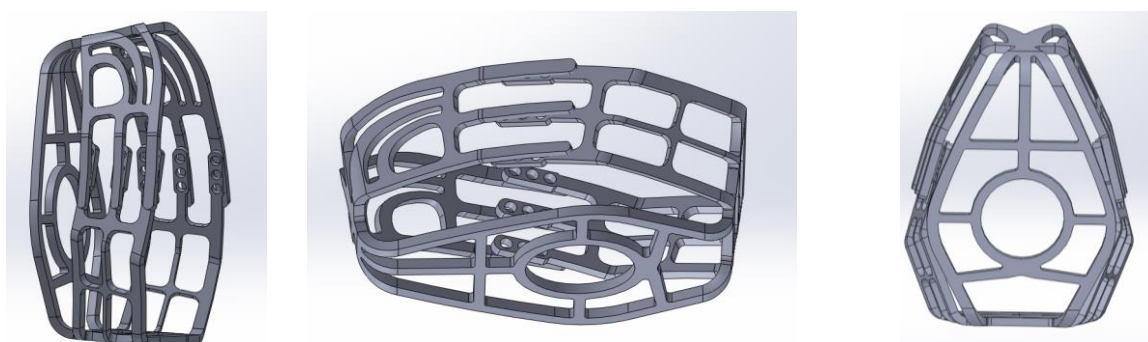


Рисунок 3.30 – Каркас респіратору.

З метою поліпшення експлуатаційних характеристик змінено конструкцію каркаса в області перенісся та конструкцію обойми, що суміщена з захисним екраном. Для виготовлення макетів каркасів півмасок обрані АВС-пластик (акрилонітрилбутадієнстирол) і полімолочна кислота (PLA). На рис. 3.32 наведені готовий каркас та моделі протипилових респіраторів. З’єднання протипилового фільтру відбувалось з внутрішньої поверхні каркаса за допомогою сідловини, яка монтується в суміщені монтажні отвори протиаерозольного фільтру і каркаса.

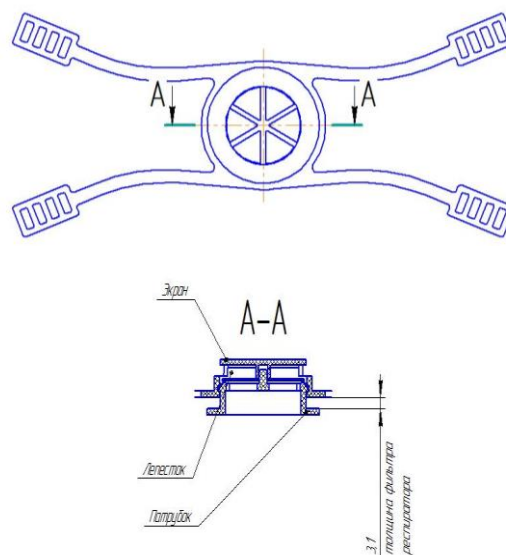
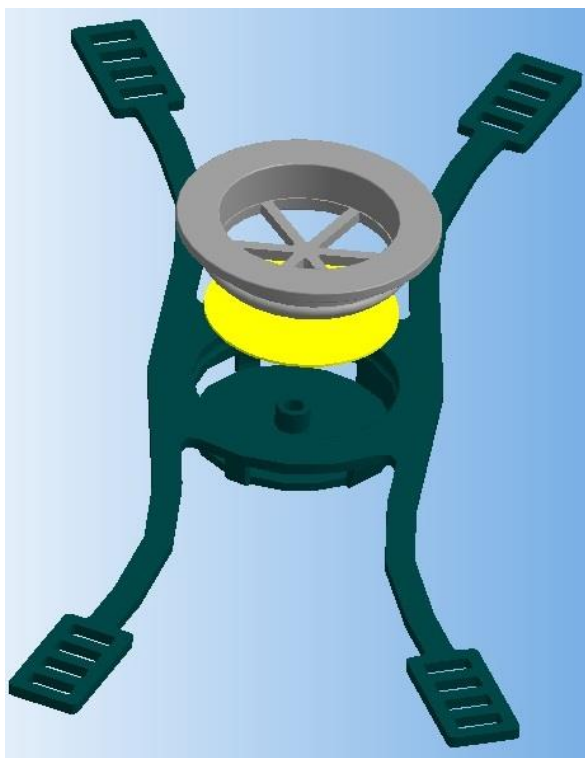


Рисунок 3.31 – Макет вузла клапана видиху, суміщеного з елементом кріплення, виконаний методом 3D-друку.

Фіксація виконується закладуванням обойми, що суміщена з захисним екраном, з сідловиною. Наголів'я, що складається з двох відрізків еластичної тасьми, протягується крізь отвори в обоймі, в результаті здійснюється фіксація наголів'я і забезпечується можливість регулювання.



а



б

Рисунок 3.32 – Загальний вигляд ПФР з геометрією смуги обтюрації, що змінюється: а – каркас, б – макет ПФР.

При виготовленні макетів протиаерозольних фільтрів (ПФ) до ПФР був використаний матеріал фільтруючий поліпропіленовий ФМП-Р2, (ТУ У 13.9-

2010004977-001:2015). Основна технологічна операція при виготовленні ПФ – термічне зварювання з використанням зварювального півавтомату «Парис-1».

Висновки до розділу 3

1. Удосконалено метод проектування легких півмасок, який складається з чотирьох кроків: аналіз умов праці та вибір необхідного фільтрувального матеріалу; обробка антропометричних розмірів осіб потенційних користувачів; проектування 3D-моделі каркаса півмаски; лабораторна перевірка захисних властивостей готового виробу та внесення змін в конструкцію, яка відрізняється від відомих наявністю механізму побудови декількох 3D моделей голови, які забезпечують допустиму щільність прилягання для 95 % користувачів.

2. Визначено основні антропометричні розміри обличч користувачів, які найбільше впливають на щільність прилягання півмасок до обличчя; на їх основі були побудовані п'ять полігональних 3D-моделей голови, що охоплюють 95 % потенційних користувачів, виходячи із ключових координат 3D-моделей голови методом інтерполяції побудовано поверхню півмаски; показано, що у півмасок, в основі розрахунку поверхні яких були розміри довжини і ширини обличчя сумарна площа смуги обтюрації у 1,4 рази більша, ніж у півмасок, поверхня яких будувалась за довжиною обличчя і губ.

3. Розроблено нову конструкцію каркаса фільтрувальної легкої півмаски зі змінною геометрією обтюратора [46, 47, 48], що дозволяє змінювати розмір смуги обтюрації, за рахунок наявності спеціальних точок кріплення, які спільно з розміщеним по периметру каркаса в спеціальному каналі, гумовим шнуром, який закріплює фільтрувальний елемент, дозволяє змінювати розмір півмаски відповідно до розмірів особи користувача.

4. Запропоновано алгоритм проектування наголів'я фільтрувальної півмаски, використовуючий за основу ключові антропометричні точки, що визначаються за даними цифрової 3D-моделі голови, який складається з трьох кроків: визначення розмірів зон обличчя, які характеризуються однаковою

пружністю ділянок; встановлення параметрів сітки для деталізації областей дослідження, яка наноситься на моделі обличчя і півмаску та розрахунок площі контакту між півмаскою і обличчям для оцінки щільності прилягання через порівняння встановлених контактних плям. Реалізація такого підходу дозволяє швидко перевіряти розподіл притискних зусиль у запропонованих моделях наголів'я та раціоналізувати конструкцію вже існуючих за площею прилягання півмаски до обличчя і величиною тиску на голову користувача.

Основні результати дослідження опубліковані у [32, 33, 46, 47, 48]

Література до розділу 3

1. Передерій Г.С., Пономаренко А.М., Шемякін Г.М., Ветров С.Ф. *Професійні ризики впливу виробничого пилу на гірників очисних вибоїв вугільних шахт*. Український журнал з проблем медицини праці. 2009. № 2. С. 21-30.
2. *Каталог виготовляємих засобів індивідуального захисту*. Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини МОН України та НАН України уклад.: А. А. Еннан, Н. М. Абрамова, Р. Є. Хома; за заг. ред. А. А. Еннана. Одеса, 2017. 52 с.
3. Капцов В.А., Чиркин А.В. *Об эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания как средства профилактики заболеваний (Обзор)*. Токсикологический вестник. 2018. № 2. С. 2-6.
4. Кириллов В.Ф., Бунчев А.А., Чиркин А.В. *О средствах индивидуальной защиты органов дыхания работающих (обзор литературы)*. Медицина труда и промышленная экология. 2013. № 4. С. 25–31.
5. Hoover M.D., Lackey J.R., Vargo G.J. *Independent Evaluation of The Lepestok Filtering Facepiece Respirator*. Lovelace Respiratory Research Institute, Pacific Northwest National Laboratory (U.S. Department of Energy). Albuquerque, NM, 2001. 27 p. DOI: 10.2172/787352

6. Lisa M. Brosseau. *Fit Testing Respirators for Public Health Medical Emergencies*. J. Occup. Env. Hyg. 2010. Vol. 7, N 11. P. 628-632. DOI: 10.1080/15459624.2010.514782
7. Денисов Э.И. *И маски любят счёт. О невозможности снижения классов вредности при использовании сертифицированных СИЗ органов дыхания и слуха*. Безопасность и охрана труда. 2014. № 2. С. 48-52.
8. Миронов Л.А. *Значение подсоса загрязненного воздуха в подмасочное пространство фильтрующих респираторов и методы его обнаружения*. Рабочая одежда. 2002. № 3. С. 15-21.
9. Стокозов И.В., Фаустов З.А., Костилян Т.З. *Модернизированный респиратор ШБ-1 Лепесток-40: Соответствие европейскому стандарту*. НИИОТ СПб. IV Петряновские чтения, Москва, 16-19 июня, 2003. М.: Изд-во МГИУ, 2003. С. 63.
10. Коробейникова А.В., Астахов В.С., Подтетнева Г.В. *Использование легких респираторов в радиационной защите, проблемы, пути решения*. Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля. 2005. № 3, ч. 1. С. 70-77.
11. EN 149:2001+A1:2009. (Main). Respiratory protective devices. Filtering half masks to protect against particles. Requirements, testing, marking.
12. Голінько В.І., Наумов М.М., Чеберячко З.І., Радчук Д.І. *Дослідження захисної ефективності вітчизняних одноразових протипилових респіраторів за європейськими стандартами*. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2011. № 5. С. 118-121.
13. Боровой А.А., Велихов Е.П. *Опыт Чернобыля (работы на объекте «Укрытие»)*. Часть 2. М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2013, 162 с.
14. Тарасов В.И., Кошелев В.И. *Просто о непростом в применении средств защиты дыхания*. Пермь: Стиль-МГ, 2007. 279 с.
15. Coffey C.C., Campbell D.L., Zhuang Z. *Simulated workplace performance of N95 respirators*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1999. Vol. 60, N 5. P. 618-624. DOI: 10.1080/00028899908984481

16. Эннан А.А., Шнейдер В.Г., Байденко В.И., Миронов Л.А. *Взаимосвязь защитной эффективности и общего давления респираторов*. Безопасность труда в промышленности. 1994. № 11. С. 11–12.
17. Чеберячко С.И., Радчук Д.И., Чеберячко Ю.И. *До оцінки захисної ефективності протипилових півмасок*. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности. 2013. №. 71(2).С. 209-215.
18. Чеберячко С.И., Радчук Д.И., Чеберячко Ю.И. *Исследование влияния толщины фильтрующего слоя, диаметра волокон и плотности упаковки на основные показатели фильтрующих материалов*. Зб. наук. пр. НГУ. 2007. № 29. С. 224–229.
19. Патент України на корисну модель UA 93674, МПК А62В 23/00. *Фільтрувальний респіратор*. Голінько В.І., Чеберячко З.І., Чеберячко Ю.І., Наумов М.М., Радчук Д.І. № u201405005; заяв. 12.05.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.
20. Lei Z., Yang J.J., Zhuang Z. *Headform and N95 Filtering Facepiece Respirator Interaction: Contact Pressure Simulation and Validation*. J. Occup. Env. Hyg. 2012. Vol. 9, N 1. P. 46-58. DOI: 10.1080/15459624.2011.635130
21. Gumon M. *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation*. Paris: INRS, 2017. 68 p.
22. Тарасов В.И. *Об оценке эффективности фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания рабочих*. Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 6. С.1-24.
23. Эннан А.А., Белинский Е.Е., Климова Л.В., Байденко В.И. *Математическое моделирование конструкции облегченного респиратора типа «Снежок»*. Тр. 1-ой Междунар. научн.-практ. конф. «Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочном производстве».Одесса, 11-13 сентября 2002. Одесса: Астропринт, 2002. С. 255-276.
24. Корнілов О.А. Опір матеріалів. ДО.: «Логос», 2002. 562 с.

25. Филипов А.И. *Анализ материала для печати на 3D принтере*. Мат. X Межд. молодежной научн. конф. “Молодежь и XXI ВЕК – 2020”. Курск, 19-20 февраля 2020. С. 156.
26. *Материалы для 3D-принтера*. URL: <https://koloro.ua/blog/3d-tehnologii/materialy-dlya-3d-printera-pla-i-abs-plastik-a-takzhe-pva-plastik-i-nejlon.html>
27. Чеберячко С.І., Радчук Д.І., Яворська О.О. *Визначення розмірів вибірки для проведення лабораторних випробувань фільтрувальних півмасок*. Метрологія та прилади. 2015. № 3 (53). С. 24-29.
28. Чеберячко С.І., Радчук Д.І., Чеберячко Ю.І. *Методика підбору випробувачів для дослідження фільтрувальних респіраторів*. Метрологія та прилади. 2016. № 2. С. 36-40.
29. Яблоков М.Ю., Кечекьян А.З., Гильбман А.Б. *Электретные свойства нанокomпозиционных материалов на основе поли пропилена*. Тез. докл. Межд. научн.-техн. конф. “Intermatic-2011” Москва, 20-23 декабря, 2011. М.: МИРЕА, 2011. С. 78–80.
30. Griffin O.G., Longson D.J. *The Hasard Due Inward Leakage of Gas into a Full Face Mask*. Ann. Occup. Hyg. 1970. Vol 13, N 2. P. 147-151. DOI: 10.1093/annhyg/13.2.147
31. Bazaluk O., Ennan A., Cheberiachko S., Deryugin O., Cheberiachko Y., Saik P., Lozynskyi V., Knysh I. *Research on Regularities of Cyclic Air Motion through a Respirator Filter*. Appl. Sci. 2021. Vol. 11, N 7. P. 3157. DOI: 10.3390/app11073157
32. Еннан А.А.-А., Абрамова Н.М., Чеберячко С.І., Книш І.М. *Результати модернізації конструкції протипилового респіатора «ШАХТАР»*. V Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика». Херсон, 13-15 вересня 2018. С. 75-77.
33. Патент України на корисну модель UA 119685, МПК А62В 7/00 *Протипиловий респіратор пролонгованої дії "Шахтар-ПД"*. Еннан А.А.-А.,

- Чеберячко С.И., Абрамова Н.М., Книш И.М. № u201700142; заявл. 03.01.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.
34. Coffey Ch.C., Lawrence R.B., Campbell D.L., Zhuang Z., Calvert C.A., Jensen P.A. *Fitting Characteristics of Eighteen N95 Filtering-Facepiece Respirators* J. Occup. Env. Hyg. 2004. Vol. 1, N 4. P. 262-270. DOI: 10.1080/15459620490433799
 35. Roberge R.J., Coca A., Williams W.J., Powel J.B., Palmiero A.J. *Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers*. Respir. Care 2010. Vol. 55, N 5. P. 569–577.
 36. Harber P., Bansal S., Santago S., Liu D., Yun D., Ng D., Liu Y., Wu S. *Multidomain subjective response to respirator use during simulated work*. J. Occup. Env. Med. 2009. Vol. 51, N 1. P. 38–45. DOI: 10.1097/JOM.0b013e31817f458b
 37. Hyatt E.C., Pritchard J.A., Held B.J., Bevis D.A., Davis T.O., Geoffrion L.A., Hack A.L., Lowry P.L., Moore T.O., Richards C.P., Wheat L.D. *Respiratory Studies for the National Institute for Occupational Safety and Health*. Los Alamos: Los Alamos Scientific Laboratory, 1974. 46 p.
 38. *The Standard Application Procedure for the Approval of Air-Purifying Filtering Facepiece Respirators Under 42. Part 84*. NIOSH, 2022. 82 p.
 39. Hack A.L., Hyatt E.C., Held B.J., Moore T.O., Richards C.P., McConville J.T. *Selection of Respirator Test Panels Representative of U.S. Adult Facial Size*. Los Alamos: Los Alamos Scientific Laboratory, 1973. 22 p. DOI: 10.2172/4335046
 40. Hack A.L., McConville J.T. *Respirator protection factors: Part I-Development of an anthropometric test panel*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1978. Vol. 39, N 12. P. 970–975. DOI: 10.1080/0002889778507897
 41. *Part 84. Approval of respiratory protective devices*. Federal Register. 1995. Vol. 60, N 110. P. 30355.
 42. Coffey C.C., Campbell D.L., Myers W.R., Zhuang Z., Das S. *Comparison of six respirator fit-test methods with an actual measurement of exposure in a simulated*

- health care environment: Part I – Protocol development*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1998. Vol. 59, N 12. P. 852–861. DOI: 10.1080/15428119891011027
43. Coffey C.C., Campbell D.L., Myers W.R., Zhuang Z. *Comparison of six respirator fit-test methods with an actual measurement of exposure in a simulated health care environment: Part II – Method comparison testing*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1998. Vol. 59, N 12. P. 862–870. DOI: 10.1080/15428119891011036
44. Zhuang Z., Coffey C.C., Jensen P.A., Campbell D.L., Lawrence R.B., Myers W.R. *Correlation between quantitative fit factors and protection factors measured under actual workplace environments at a steel foundry*. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 2003. Vol. 64, N 6. P. 730–738. DOI: 10.1202/475.1
45. Zhuang Z., Bradtmiller B. *Head-and-Face anthropometric survey of U.S. respirator users*. J. Occup. Environ. Hyg. 2005. Vol. 2, N 11. P. 567–576. DOI: 10.1080/15459620500324727
46. Патент України на корисну модель UA 149658, МПК А62В 7/00, МПК А62В 9/00. *Гігієнічний обтюратор до гумової півмаски респіратора*. Еннан А.А., Абрамова Н.М., Книш І.М., Хома Р.Є. № u202103969; заявл. 07.07.2021; опубл. 25.11.2021, Бюл. № 47.
47. Патент України на корисну модель UA 149660, МПК А62В 7/00. *Плоский респіратор*. Еннан А.А., Книш І.М., Абрамова Н.М., Чеберячко С.І. № u2021003971; заявл. 07.07.2021; опубл. 25.11.2021, Бюл. № 47.
48. Bazaluk O., Ennan A., Cheberiyachko S., Deryugin O., Cheberiyachko Y., Saik P., Lozynskyi V., Knysh I. *Research on Regularities of Cyclic Air Motion through a Respirator Filter*. Appl. Sci. 2021. Vol. 11, N 7. P. 3157. DOI: 10.3390/app11073157

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ІМПРЕГНОВАНОГО ВОЛОКНИСТОГО ХЕМОСОРБЕНТУ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НОРМОВАНІ ВИМОГИ ДЛЯ ПРОТИГАЗОВИХ ФІЛЬТРІВ КЛАСУ К1 (АМІАК) РЕСПІРАТОРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Серед великого різномайття адсорбентів, що використовуються в пристроях санітарного очищення повітря від газоподібних токсикантів особливе місце посідають нетканні сорбційно-фільтруючі матеріали (НСФМ). Завдяки малому часу досягнення сорбційної рівноваги у разі використання НСФМ швидкість сорбції шкідливих компонентів з газоповітряних середовищ у декілька разів перевищує швидкість аналогічних процесів на зернистих адсорбентах, що дає змогу досить ефективно проводити процес очистки повітря використанням тонких шарів матеріалу. Завдяки малому опору повітряному потоку такі матеріали використовуються для спорядження газоочищувального устаткування, зокрема респіраторів – засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) від токсичних газів [1-3]. Одним з різновидів НСФМ є ІВХС (див. розділ 1.3).

Згідно основним критеріям вибору імпрегнуючих реагентів (див. розділ 1.3), для отримання ІВХС нами [3] було взято за основу водний розчин [4] широко доступної практично нетоксичної лимонної кислоти (*CA*), що використовується в харчовій та фармацевтичній промисловості [5]. В якості волокнистого носія (ВН) нами було вибране неткане голкопробивне сорбційно-фільтруюче полотно СФМ-ОЦ (ТУ У 33.1-01530125-015:2007) товщиною 4 мм та поверхневою густиною 300 г/м². Просочуючі розчини готували на основі моногідрату лимонної кислоти кваліфікації “хч”; як модифікатори використовували гліцерин (*Gl*) “фармакопейний”, хлорид натрію “чда” та 96 % розчин етанолу. Просочування ВН водними розчинами здійснювали із розрахунку 1,0 л розчину на 1,0 м² носія. Зразки сушили на повітрі 20 – 25 хв.

Дослідження сорбційних характеристик ІВХС у складі протигазового респіратору виготовлювали диски ($d = 7,9$ см; число дисків – 6) проводили сухими та зволженими зразками в динамічних умовах, наближених до реальної експлуатації ЗІЗОД: концентрація NH_3 в ГПС – 700 ± 30 мг/м³ (35 ГДК) [6], відносна вологість ГПС $\varphi = 0 \div 72$ % (лінійна швидкість потоку ГПС – 5,1 см/с). Для вимірювання вхідної і проскокової концентрації аміаку використовували калібрований по NH_3 газоаналізатор безперервної дії “Коліон-1В” з фотоіонізаційним детектором.

Вміст СА в зразках ІВХС та ступінь їх “спрацьовування” по NH_3 контролювали алкаліметричним титруванням (титрант – водний розчин 0,5 М NaOH з кондуктометричним детектуванням), подібно [7].

Мікроскопічні дослідження морфології зразків ІВХС проводилися методом сканівної електронної мікроскопії (SEM) на мікроскопі Tescan Mira 3 LMU (Tescan, Чехія). Дослідження мікоморфології отриманих ІВХС проводили шляхом сканування їхньої поверхні для повітряно-сухих зразків, нанесених на графітовий скотч в режимі вторинних електронів (SEI).

Про захисну ефективність ІВХС у складі ГП респіратора “Клен-К1” судили за часом захисної дії, який фіксували в той момент, коли концентрація NH_3 за ГП сягала 20 мг/м³ ($\tau_{ГДК}$).

На першому етапі досліджень було встановлено, що сорбційна здатність щодо аміаку вибраного ВН практично дорівнює нулю; проведено удосконалення вже існуючої рецептури [4] приготування розчинів для просочення голкопробивного ВН. Дослідним шляхом виявлено, що для того, щоб захисні характеристики ГП задовольняли умовам [8] ($\tau_{ГДК} \geq 50$ хв у зазначених вище умовах) концентрація СА у просочуючому розчині повинна становити не менше 40 %.

Згідно даним електронної мікроскопії (рис. 4.1) зразку ІВХС-40СА (отриманого шляхом просочування водним 40,0 % розчином СА) кристали СА нерівномірно розташовуються на поверхні волокон носія, утворюючи скупчення у міжволоконному просторі. Для досягнення рівномірного

розподілу СА на поверхні волокон та підвищення адгезії до складу просочуючого розчину було додано *Gl* та хлорид натрію, подібно [3, 9]. Встановлено, що оптимальний склад вказаного розчину: 40,0 % $C_3H_5O(COOH)_3$, 3,3 % $C_3H_5(OH)_3$ та 1,0 % NaCl, за допомогою якого були виготовлені зразки ІВХС-СА-*Gl*-NaCl, захисні властивості яких щодо NH_3 в подальшому були дослідженні у складі ГП.

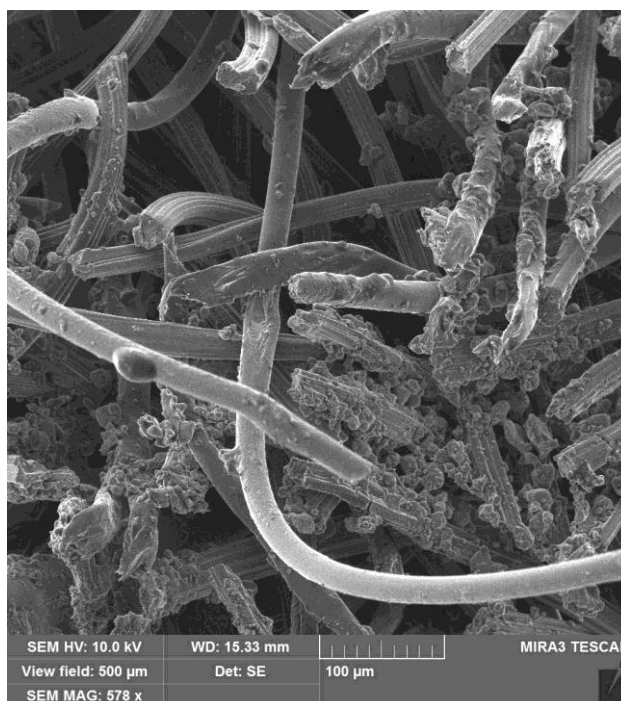


Рисунок 4.1 – СЕМ-зображення ІВХС-40СА

Згідно даним рис. 4.2, при спрацьовуванні по NH_3 зразків ІВХС-СА-*Gl*-NaCl відбувається збільшення їх маси, яка в декілька раз вища, ніж маса хемосорбованого аміаку. Залежність вказаних величин описується рівнянням:

$$\Delta m_{\text{ІВХС}} = 12,17 \cdot m(NH_3) - 0,1907; R^2 = 0,9928; n = 12. \quad (4.1)$$

Очевидно, описане вище пов'язано із гідратацією продукту хемосорбції – дигідроцитрату амонію ($v(\text{CA}) : v(NH_3) = 1,0 : 1,0$). Маса сорбованої води визначається рівнянням виду:

$$m(H_2O) = \Delta m_{\text{ІВХС}} - m(NH_3). \quad (4.2)$$

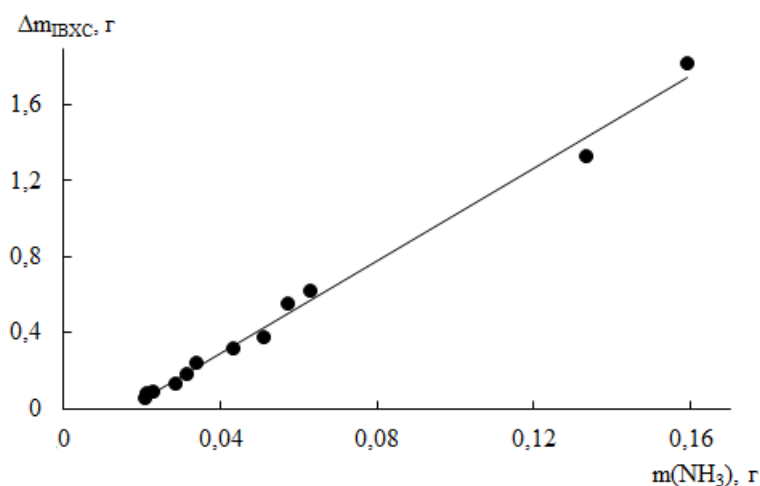
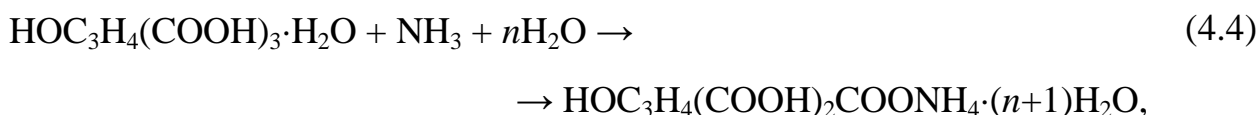


Рисунок 4.2 – Взаємозв’язок маси поглинутого NH₃ із збільшенням маси IBXS-CA-Gl-NaCl під час його “спрацьовування”.

Шляхом обробки рівнянь (4.1) та (4.2) отримано рівняння (5.3), яке описує зв’язок між кількостями хемосорбованого аміаку та поглинутої води за рахунок гідратації продукту хемосорбції:

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 10,171 \cdot v(\text{NH}_3) - 0,009; R^2 = 0,9928; n = 12. \quad (4.3)$$

Таким чином, в результаті хемосорбції NH₃ зразками IBXS-CA-Gl-NaCl утворюються гідрати дигідроцитрату амонію:



Із рівняння (4.4) видно, що $v(\text{H}_2\text{O}) = 10$ при $v(\text{NH}_3) = 1$ моль; $\text{HOC}_3\text{H}_4(\text{COOH})_2\text{COONH}_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ – кінцевий продукт хемосорбції NH₃ зразками IBXS-CA-Gl-NaCl.

Згідно отриманим даним (рис. 4.3), відносне збільшення маси зразків досліджуваного IBXS ($\Delta m/m_0$, %) супроводжується зростанням ступеня його “спрацьовування” щодо аміаку (η_{IBXS} , %). Вказана залежність описується рівнянням (4.5).

$$\eta_{\text{IBXS}} = -0,047 \cdot (\Delta m/m_0)^2 + 4,00 \cdot \Delta m/m_0 + 9,43; R^2 = 0,9877 \quad (4.5)$$

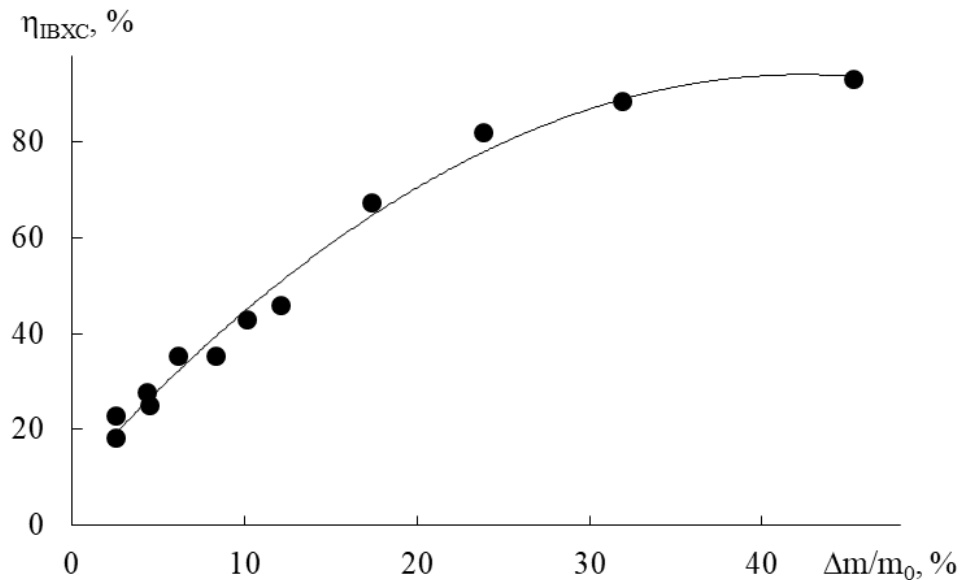


Рисунок 4.3 – Взаємозв'язок відносного збільшення маси ІВХС із ступенем його “спрацьовування” за NH_3 .

На рис. 4.4 представлені динамічні криві хемосорбції аміаку ГП, спорядженого дисками з ІВХС-CA-GI-NaCl. Як видно, зі збільшенням вологості ГПС у діапазоні 0 – 72 % вид кривих змінюється – з'являються ділянки, де проскокова концентрація NH_3 дорівнює нулю, та їх тривалість зростає. При відносній вологості $\text{RH} \geq 52\%$ досліджуваний ГП забезпечує концентрацію токсиканту в підмасковому просторі на рівні, що не перевищує AEGL2 (60 хв.). Залежність часу захисної дії $\tau_{\text{ГДК}}$ (час, протягом якого забезпечується очищення ГПС від аміаку до $\text{ГДК}_{\text{р.з.}}$) від вологості ГПС показано на рис. 4.5.

Мінімальне значення $\tau_{\text{ГДК}} \sim 3$ хв при $\text{RH} = 0\%$ свідчить про відсутність сорбції аміаку попередньо висушеними зразками ІВХС в умовах сухої ГПС. Зі збільшенням вологості ГПС $\tau_{\text{ГДК}}$ значно зростає, але лише при $\text{RH} \geq 47\%$ перевищує нормовані вимоги для протигазового фільтру класу К1. Тобто вологість ГПС активує захисні властивості ІВХС, а необхідною умовою хемосорбції аміаку є наявність “вільної” води на його поверхні, подібно [9].

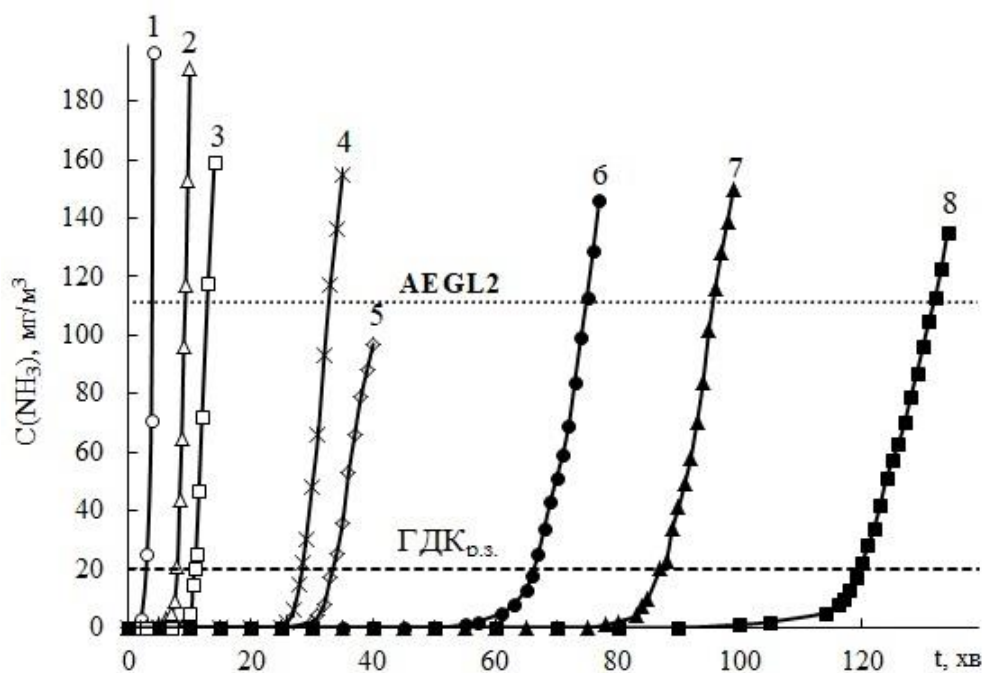


Рисунок 4.4 – Залежності проскокової концентрації аміаку для ГП, спорядженого дисками з ІВХС-СА-*Gl*-NaCl, від часу фільтрування при різній вологості (RH) ГПС, $C_{ex}=700\pm 30$ мг/м³. RH, %: 0 (1); 15 (2); 20 (3); 35 (4); 40 (5); 52 (6); 63 (7); 72 (8)

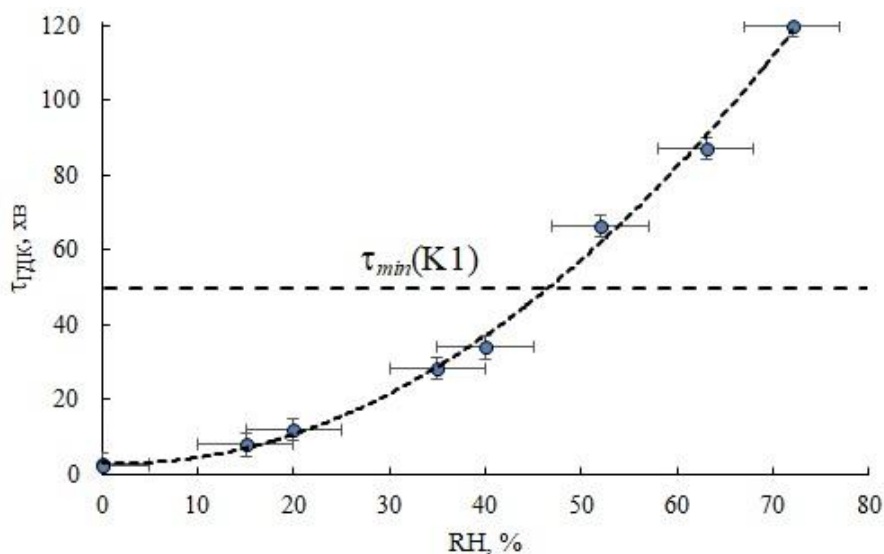


Рисунок 4.5 – Залежність часу захисної дії ($\tau_{ГДК}$) від вологості ГПС, горизонтальна лінія – мінімальний час захисної дії протигазових фільтрів класу K1(аміак)

На рис. 4.6 показано пошарове відносне збільшення маси зразків ІВХС-СА-*Gl*-NaCl (по відношенню до початкової) під час “спрацьовування” по

досліджуваному токсиканту. Враховуючи дані, наведені на рис. 4.6, і відмічені вище кореляції слід відмітити таке. Ступінь спрацьовування зразків ІВХС-СА-*Gl*-NaCl по NH₃ (захисна ефективність) зменшується в напрямку течії ГПС, так як зменшується кількість “вільної” води, що присутня у кожному наступному шару.

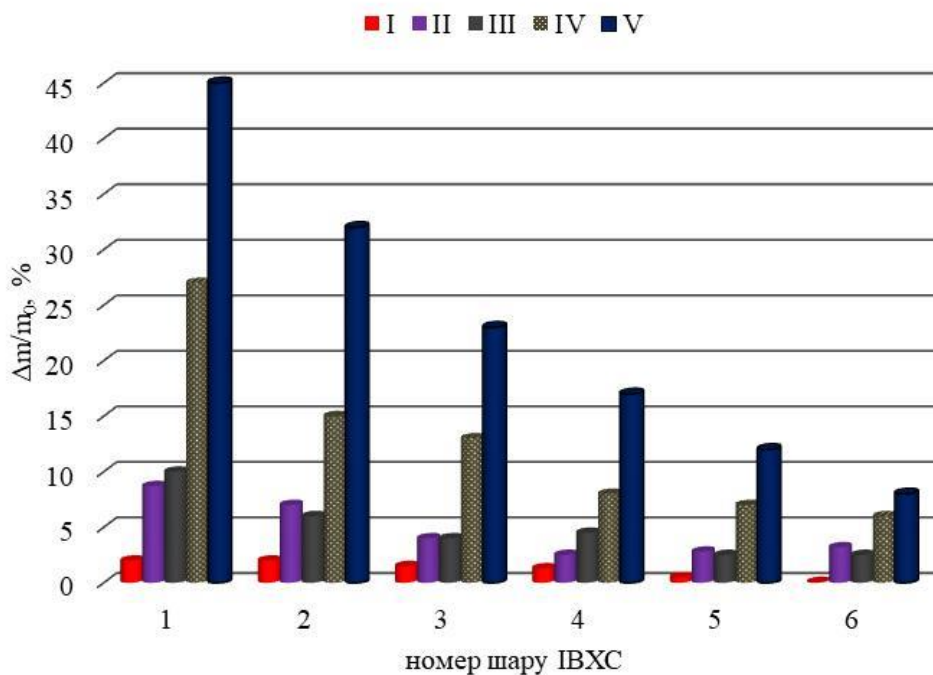


Рисунок 4.6 – Відносне збільшення маси зразків ІВХС-СА-*Gl*-NaCl під час хемосорбції аміаку. RH, %: 20 (I); 35 (II); 40 (III); 52 (IV); 72 (V).

Слід також відзначити, що на відміну від модифікованого АВ, при використанні ІВХС-СА-*Gl*-NaCl відсутня конкуренція між адсорбцією молекул води та аміаку; навпаки, вологість ІВХС сприяє хемосорбції аміаку.

Тому для підвищення ефективності хемосорбції аміаку достатнє попереднє зволоження ІВХС-СА-*Gl*-NaCl перед спорядженням газопоглинального патрона за рахунок вологості атмосферного повітря, наприклад, шляхом знаходження зразків ІВХС-СА-*Gl*-NaCl у атмосферному повітрі з RH = 45% протягом 1 години. При цьому маса зразків ІВХС-СА-*Gl*-NaCl за рахунок сорбції вологи атмосферного повітря збільшилась на 8,5%. Результати визначення часу захисної дії ($\tau^*_{ГДК}$) газопоглинального патрона,

спорядженого попередньо зволоженими зразками ІВХС-СА-ГІ-NaCl представлені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Вплив попереднього зволоження зразків ІВХС-СА-ГІ-NaCl на їх захисну ефективність

Вологість ГПС, %	Попередньо зволожений ІВХС	Попередньо висушений ІВХС	$\tau^*_{ГДК}/\tau_{ГДК}$
	$\tau^*_{ГДК}$, ХВ	$\tau_{ГДК}$, ХВ	
35	52	28	1,9
40	76	34	2,2

Згідно отриманим даним (табл. 4.7), попереднє зволоження ІВХС-СА-ГІ-NaCl суттєво (~2 рази) збільшує час захисної дії ГП.

Отже ГП, споряджені розробленими зразками ІВХС-СА-ГІ-NaCl, забезпечують нормовані вимоги для протигазових фільтрів класу К1 (аміак) при вологості вдихуваного повітря $\geq 30\%$. Наявність “вільної” води забезпечує більш повне “спрацьовування” вказаного хемосорбенту по даному токсиканту.

ІВХС з індикацією “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності





















Термін служби будь-якого ГП або ППЕ, що очищає забруднене повітря, обмежений і сильно залежить від умов експлуатації. До недавнього часу [10] для своєчасної заміни фільтрів широко використовували реакцію органу нюху на появу запаху газу в під масковому просторі. Однак, користувачі реагують на запах деяких газів лише при сильному перевищенні ГДК, а у різних людей чутливість до запахів неоднакова (наприклад, для оцтової кислоти [11], за даними 32 різних джерел (максимальний діапазон) від 0,001 до 500 мг/м³, а ПДК_{рз} 5 мг/м³) [12]. Якщо концентрація газу зростає поступово (у міру насичення сорбенту у фільтрі), чутливість органу нюху може знизитися (H₂S). Звикання до запаху при тривалій роботі, застудні захворювання, зосередження уваги на роботі – все це робить заміну фільтра

“за запахом” ненадійною. У США роботодавець зобов’язаний замінювати фільтри за розкладом (обчисливши [13] або вимірявши термін служби для відомих умов праці).

Тому нами були розроблені хемосорбенти основних газів (ІВХС-І), “спрацьовування” динамічної поглинальної ємності яких можливо візуально визначити за зміною забарвлення ПГЕ на зворотній стороні під час “проскоку” сорбтиву. Вони одержані шляхом просочування волокнистих носіїв водними розчинами, що містять 40,0 % $C_3H_5O(COOH)_3$, 3,3 % $C_3H_5(OH)_3$ та 1,0 % NaCl, 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 респіраторів, описаних вище. Відомості про склад розчинів для просочування ВН та результати випробувань одержаних зразків ІВХС-І приведені в табл. 4.8. Встановлено, що момент початку інверсії кольору на зворотній стороні ПГЕ із ІВХС-І візуально визначається, коли концентрація NH_3 за фільтром досягає 1-2 мг/м³ (ГДК= 20 мг/м³).

Таблиця 4.8 – Характеристики індикаторів та забарвлення зразків ІВХС-І на їх основі

Ind	Інтервал рН переходу забарвлення [44]	Забарвлення ІВХС-І	
		початкове	після “спрацьовування”
Азолітмін	4,5-8,3		
Бромкрезоловий зелений	3,8-5,4		
Бромксиленоловий синій	6,0-7,6		
Бромфеноловий синій	3,0-4,6		
Бромфеноловий червоний	5,2-6,8		
Конго червоний	3,0-5,2		
Ксиленоловий оранжевий	6,4-10,4		
Метилловий оранжевий	3,1-4,4		
Тимоловий синій	8,0-9,6		
Феноловий червоний	6,8-8,4		

Отримано позитивні відгуки працівників ПАТ “Український графіт” (м. Запоріжжя), ПАТ “Дніпровський металургійний комбінат” (м. Дніпродзержинськ) щодо захисних, експлуатаційних і ергономічних характеристик протигазових та газопилозахисних фільтруючих респіраторів, споряджених ПГЕ з ІВХС та ІВХС-І (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Легкі фільтруючі газопилозахисні респіратори, що споряджуються ПГЕ з ІВХС [9] та ІВХС-І

Найменування, тип, клас респіратора (відповідність вимогам), технічні умови на виробництво		Захисна функція
 ТУ У 32.9-01530125-007:2022	«КЛЕН» FMK1 (ДСТУ EN 14387:2006)	Аміак і пари азотовмісних органічних основ
	«КЛЕН» FM K1P2 (ДСТУ EN 14387:2006)	Аміак і пари органічних основ, аеродисперсні частинки
 ТУ У 33.1-01530125-022:2008	«ШАХТАР» FMK1 (ДСТУ EN 14387:2006)	Аеродисперсні частинки
	«ШАХТАР» FM K1P2 (ДСТУ EN 14387:2006)	Аміак і пари азотовмісних органічних основ

Висновки до розділу 4

1. Розроблені ІВХС основних газів, що забезпечують нормовані вимоги для протигазових фільтрів класу K1 (аміак) при вологості вдихуваного повітря $\geq 30\%$. Наявність “вільної” води забезпечує більш повне “спрацьовування” вказаного хемосорбенту по даному токсиканту.

2. Розроблено ІВХС-І основних 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 споряджуються ПГЕ протигазових та газопилозахисних респіраторів.

Основні результати дослідження опубліковані у [3, 14]

Література за четвертим розділом

1. Zverev M.P. *Fibre Chemisorbents – Material for Environmental Protection. A Review*. *Fibre Chemistry*. 2002. Vol. 34. P. 456–465. DOI: 10.1023/A:1022972511231
2. 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
3. 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
4. Эннан А.А., Байденко В.И., Захаренко Ю.С., Гальбрайт Л.С., Лишевская М.О., Захаренко В.Н. *Импрегнированные сорбционно-активные волокнистые материалы*. Тр. 1-й Междунар. науч.-практ. конф. «Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в свароч. производстве» (г. Одесса, 11-13 сентября 2002 г.). Одесса: Астропринт, 2002. С. 422-431.
5. Apelblat A. *Citric acid*. Springer, 2014. 357 p.
6. ТУ У 32.9-01530125-007:2022. Респіратори “Клен”

7. ДСТУ ГОСТ 908:2006 (ГОСТ 908-2004, IDT). *Кислота лимонна моногідрат харчова. Технічні умови*. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2007.
8. ДСТУ EN 14387:2017 (EN 14387:2004 + A1:2008, IDT). *Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтри протигазові та фільтри скомбіновані. Вимоги, випробування, маркування*. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018.
9. Эннан А.А., Хома Р.Е., Длубовский Р.М., Захаренко Ю.С., Абрамова Н.Н., Михайлова Т.В. *Влияние модифицирующих добавок на хемосорбцию оксида серы(IV) волокнистым материалом, импрегнированным полиэтиленполиамином*. Вісник ОНУ. Хімія. 2020. Т. 25, № 4. С. 56-73. DOI: 10.18524/2304-0947.2020.4(76).216927
10. Bollinger N.J. *NIOSH Respirator Selection Logic*. Cincinnati: OH: DHHS, NIOSH. 2004. 39 p.
11. Murnane S.S., Lehocky A.H., Owens P.D. *Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards*. 2-th edition. Falls Church: AИHA, 2013. 192 p.
12. Капцов В.А., Чиркин А.В. *Требования к организации респираторной защиты работающих: обзор мировой практики. Анализ риска здоровью*. 2020. № 4. С. 188-195.
13. *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/>
14. 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%20(82).264892

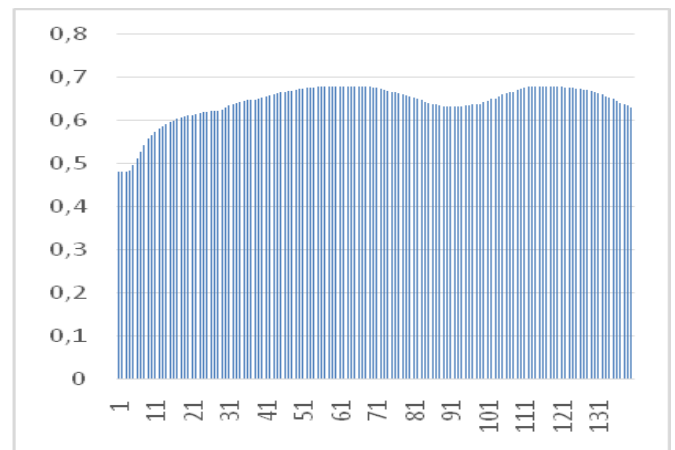
РОЗДІЛ 5. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ

5.1 Перевірка щільності прилягання до обличчя респіраторів розробленої конструкції

Перевірку щільності прилягання півмаски до обличчя проводили за методикою описаною у підрозділі 2.3 методом термографування (рис. 5.1). Для цього підбирали декілька випробувачів за рекомендаціями вказаними в підрозділі 2.5 так, щоб охопити декілька типорозмірів. Метою дослідження було попереднє визначення захисної ефективності півмасок для подальшого удосконалення конструкції їх каркасу. Результати показали (табл. 5.1), що всі конструкції півмасок мають допустиму і задовільну ступінь прилягання до обличчя, що дозволяє припустити їх відповідність нормативним вимогам НД за коефіцієнтом проникнення крізь фільтрувальний матеріал і загальним коефіцієнтом підсосу. Відсутність високого ступеню прилягання пояснюється незначною вибіркою антропометричних параметрів обличч користувачів, які було враховано при розробці каркасу півмаски.



а



б

Рисунок 5.1 - Вигляд термографічного зображення півмаски (а) з гістограмою (б) для визначення щільності прилягання через кольорове забарвлення смуги обтюрації, викликане передачею тепла від обличчя користувача

За результатами представлених досліджень встановлено:

Таблиця 5.1 - Результати визначення щільності прилягання респіраторів методом термографії

Випробувач	Щільність прилягання	Загальний коефіцієнт підсосу, %	Коефіцієнт проникання, %	Коефіцієнт підсосу за смугою обтюрації, %	Оцінка щільності прилягання
1	0,65	2,9	0,5	2,4	Допустима
2	0,58	3,5	0,4	3,1	Задовільна
3	0,61	3,2	0,8	2,8	Допустима
4	0,66	1,6	0,8	2,6	Задовільна
5	0,63	0,9	0,6	1,8	Задовільна
6	0,59	1,8	0,7	2,3	Допустима

- основні причини, які погіршують захисну ефективність півмасок - зазори по смузі обтюрації, що утворюються через недосконалість конструкції півмаски, яка побудована з урахуванням параметричної панелі для трьох типорозмірів;

- запропоновано схему проектування півмаски, яка складається з трьох кроків: обробка антропометричних розмірів потенційних користувачів; визначення параметрів 3D-голови та розробка 3D-моделі каркаса півмаски.

- розроблено нову конструкцію каркаса зі змінною геометрією смуги обтюрації, за рахунок наявності спеціальних точок кріплення, що спільно з розміщеним по периметру респіратора в спеціальному каналі гумовим шнуром дозволяє змінювати розмір півмаски відповідно до розмірів особи користувача.

5.2. Визначення коефіцієнту захисту експериментальних зразків у лабораторних умовах

Наступний етапом перевірки якості запропонованих конструкцій респіраторів було визначення коефіцієнту захисту у лабораторних умовах за методикою описаною у підрозділі 2.2, з відповідним підбором випробувачів за параметричними таблицями наведеними у підрозділі 2.5.

Результати визначення коефіцієнта проникнення за тест-аерозолем наданих півмасок представлені в табл. 5.2. Також окремо були проведені визначення коефіцієнтів проникання респіраторів з урахуванням сил натягу стрічок наголів'я (табл. 5.3), що дозволяє визначити раціональну величину притискного зусилля. Для кращого розуміння отриманих показників

розроблених нових конструкцій півмасок, також проходив випробування досить відомий і широко розповсюджений респіратор ««Лепесток»». Крім того, проведено визначення коефіцієнта проникнення крізь фільтр (табл. 5.4), які необхідні для розрахунку коефіцієнту підсмоктування за смугою обтюрації як різницю між загальним коефіцієнтом підсосу і коефіцієнтом проникнення крізь фільтрувальну поверхню півмаски, зокрема

Таблиця 5.2 – Значення загального коефіцієнта підсосу тест-аерозоллю хлориду натрію за ДСТУ EN 149:2017 (п. 7.9.1)

Номер випробувача	Значення загального коефіцієнта підсосу тест-аерозоллю хлориду натрію				
	Читання вголос	Ходьба	Повороти голови	Нахили голови	Середнє
1	0,20	0,03	0,04	0,09	0,10
2	0,40	0,20	0,19	0,24	0,33
3	0,45	0,35	0,31	0,40	0,40
4	0,44	0,31	0,31	0,32	0,36
5	1,45	0,98	0,83	0,86	1,03
6	0,70	0,44	0,53	0,37	0,50
7	1,10	0,59	0,63	0,60	0,70
8	0,90	0,79	0,62	0,79	0,80
9	1,20	1,16	1,10	1,10	1,10
10	1,40	1,23	1,20	1,40	1,30
Середнє	0,82	0,60	0,57	0,61	0,66
Мах	1,45	1,23	1,20	1,40	1,30
Min	0,20	0,03	0,04	0,09	0,10

Таблиця 5.3 -Залежність загального коефіцієнта підсосу півмасок від сил натягу СН

Сила натягу СН, Н	Значення загального коефіцієнта підсосу півмасок $K_{зк}$, %	
	««Лепесток»»	«Дослідний»
1	12,2	9,1
2	6,5	4,4
3	4,1	2,6
4	3,2	1,9
5	3,1	1,5
6	2,4	1,3

Таблиця 5.4- Значення коефіцієнта проникання тест-аерозоллю хлориду натрію крізь фільтрувальну поверхню півмаски

Середні значення $K_{п}$, %	
««Лепесток»»	«Дослідний»
0,7	0,7

Таблиця 5.5 - Значення коефіцієнта підсосу тест-аерозоллю хлориду натрію по смузі обтюрації

Зусилля на СН, Н	Значення коефіцієнта підсосу по смузі обтюрації півмасок $K_{псо}$, %	
	«Лепесток»»	«Дослідний»
1	11,5	8,2
2	5,8	5,7
3	3,4	1,9
4	2,5	1,2
5	2,4	0,8
6	1,7	0,6

Різниця значеннях коефіцієнтів підсосу по смузі обтюрації, на наш погляд, зумовлена нерівномірністю розподілу притискних зусиль, чому сприяє зростання відстані між центрами прикладення нормальної і дотичної складових притискної сили F , створюваної наголів'ям півмаски (рис. 5.2). Доказом слугує те, що у першому перевіреному зразку для кріплення наголів'я використовується спеціальна пластикова смужка, яка дозволяє підвищити рівномірність розподілу притискних зусиль у порівнянні з другим зразком. Збільшення ж розміру пластикової смужки викликає значний момент M_F відносно горизонтальної площини півмаски, про що свідчить про різницю між механічним тиском в області перенісся та підборіддя (рис. 5.3) [1].

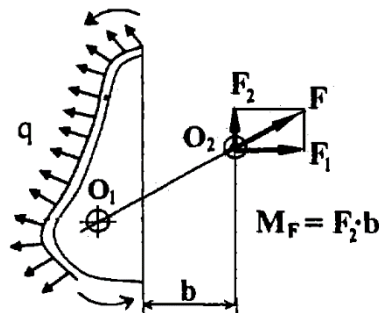


Рисунок 5.2 – Розподіл зусиль на дослідній півмасці : O_1 – точки кріплення наголів'я; точка O_2 – місце кріплення стрічки наголів'я на голові

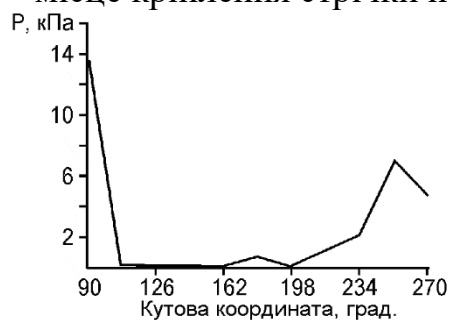


Рисунок 5.3 – Асиметричний розподіл механічного тиску за смугою обтюрації півмаски Сніжок [2]

Саме нерівномірність розподілу притискних зусиль і призводить до появи нещільностей за смугою обтюраторії. Найбільш вірогідне місце підсмоктувань у цієї півмаски є рото-носова зона, де тиск складає менше 2 кПа, тоді як для запобігання проникання аерозолу за смугою обтюраторії потрібно забезпечити не менше 2,5 кПа. Покращити ізолювальні властивості можна збільшенням силу натягу наголів'я, але це призведе до появи дискомфортних відчуттів, оскільки на підборідді вже зафіксований максимальний тиск, що не викликає утворення наминів на обличчі.

Додатковою важливою умовою забезпечення рівномірного тиску за смугою обтюраторії є місце розташування кріплення наголів'я на півмасці. Експериментальні дані показують, що кращий результат має протипиловий респіратор під номером 3, що пояснюється як вдалою конструкцією обтюратора так і розміщенням точок кріплення наголів'я які забезпечили.

Отже, проведені дослідження дозволили встановити зв'язок між коефіцієнтом захисту респіраторів та їх щільністю прилягання. Зокрема, даних табл. 5.6 видно, що найкращий результат спостерігається у дослідного зразка.

В результаті проведених лабораторних досліджень встановлено, що показники захисних властивостей півмаски, що розроблена, відповідає вимогам стандарту для півмасок другого класу захисту (табл. 5.5). При цьому коефіцієнт підсосу по смузі обтюраторії розробленого респіратора в порівнянні з респіратором ««Лепесток»» зменшився більш ніж на 50%. Результати дослідження показали, що отримані результати за коефіцієнтом захисту респіраторів більшою мірою залежали від властивостей фільтруючого матеріалу, ніж від щільності прилягання напівмаски до обличчя.

Таблиця 5.6 – Основні показники ПФР та респіратора ««Лепесток»»

Визначувані показники	Значення показників фільтруючих респіраторів	
	«Лепесток»	Дослідного
Коефіцієнт проникання крізь фільтрувальну поверхню півмаски за тест-аерозолем хлориду натрію, %	1,52±0,08	0,86±0,05
Загальний коефіцієнт підсосу за тест-аерозолем хлориду натрію, %	2,25±0,06	1,15±0,04
Коефіцієнт захисту респіраторів		

Таким чином встановлено, що загальний коефіцієнт підсосу аерозолів в підмасковий простір респіратора залежить від розміщення точок кріплення наголів'я та напряму утвореної ним притискної сили, від якої виникає обертальний момент, що діє на півмаску, та складається певне співвідношення дотичних та нормальних до обличчя сил [3, 4]. Ці сили під час руху півмаски призведуть до зсувів маски та утворенням зазорів, через які аерозоль підсмоктується в підмасковий простір.

5.3 Перевірка ергономічних властивостей розробленого респіратора

В останній час застосування ЗІЗОД стало необхідним для більшої, ніж раніше, кількості населення через загрози зараження патогенними мікроорганізмами, вірусами, можливого потрапляння в повітря хімічних речовин, радіонуклідів та ін. До того ж, ще більш актуальним стала необхідність зручності ЗІЗОД при застосуванні їх впродовж тривалого часу.

В відповідності до вимог Директиви Ради ЄС 89/686/ЕЕС «Про зближення законодавства держав-членів ЄС по відношенню до персонального захисного обладнання» з метою досягнення максимальної ефективності при проектуванні ЗІЗОД повинна враховуватися зручність при припасуванні, можливий вплив факторів довкілля, особливості рухів тіла та поз, що приймаються при виконанні технологічних операцій. Ті вимоги можуть бути реалізовані за рахунок конструкторських рішень при проектуванні елементів кріплення та підгонки, а також шляхом створення конструкцій лицевих частин регульованих розмірів

Відомо, що при недостатньо щільному приляганні півмаски до обличчя через невідповідність антропометрії обличчя геометрії смуги обтюрації знижується захисна ефективність фільтрувального респіратора. Тому, при сертифікації у багатьох європейських країнах вимагається перевірка ізолюючих властивостей півмасок [5–8] в залежності від антропометричних параметрів облич.

Для оцінки ергономічних властивостей півмасок фільтрувального респіратору підбиралось 10 випробувачів (5 жінок і 5 чоловіків) з різними

розмірами облич. Довжина обличчя випробувачів знаходилась в межах від 93,5мм до 133,5 мм, а ширина обличчя – від 114,5мм до 161,5мм. Для проведення дослідження були використані ПФР (рис. 5.7), технічні характеристики котрого наведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Параметри респіраторів, які використовували в цьому дослідженні

Назва об'єкта випробувань	Форма півмаски	Клас захисту	Опір диханню при витраті постійного потоку повітря 95 дм ³ /хв, мбар	Коефіцієнт проникання крізь фільтрувальну поверхню півмаски * при витраті постійного потоку повітря 95 дм ³ /хв, %, не більш	Загальний коефіцієнт підсосу, %
«Лепесток»	Чашо-подібна	P2	0,35	2,3	1,3
Дослідний	Чашо-подібна	P2	0,45	1,2	0,86

Оцінка ізолюючих властивостей ПФР проводилася за стандартизованим методом, що викладений в ДСТУ EN 149:2017 (п. 8.5.1.1), і полягала в наступному: випробувач протягом 1 хв знаходився в надягнутому ПФР у стані спокою, виконував повороти голови вверх та вниз та повороти голови вліво-вправо. Ці вправи дозволяли перевірити можливість сповзання ПФР.

Вимір концентрації аерозольних частинок до і після півмаски проводився три рази для кожного випробувача, потім розраховувалось середнє значення коефіцієнта щільності (КЩ). Перед початком перевірки випробувач надягав ПФР згідно з інструкцією та залишався у стані спокою три хвилини для адаптації. Далі він самостійно виконував перевірку правильності припасування відповідно до рекомендації в інструкції. Виконавши повороти голови вверх-вниз та вліво-вправо, випробувач знімав ПФР, і кілька хвилин відпочивав для проведення наступного виміру з застосуванням іншої моделі. Після визначення загального коефіцієнта підсосу, для кожного з ПФР визначався коефіцієнт проникання крізь фільтрувальну поверхню півмаски відповідно до методу за ДСТУ EN 149:2017 (п. 8.11). Величина коефіцієнта проникання при витраті повітря 95 дм³/хв не перевищувала 0,4%. Для розрахунку КЩ з загального коефіцієнта підсосу вираховували коефіцієнт проникання через фільтруючий матеріал півмаски.

Для кожного поєднання випробувач-модель вийшло по три значення загального коефіцієнта підсосу, котрі осереднювались. Середнє значення порівнювалося з допустимим (не більш 11%) для визначення того, чи проходить випробувач перевірку. Якщо середнє значення менше 11 – то проходив, а якщо більше – не проходив. Для вивчення зв'язку між середніми значеннями загального коефіцієнта підсосу і розмірами обличчя, використовувалась багатократна лінійна регресійна модель. Для її отримання випробувачі були поділені на три групи за розмірами своїх облич: невеликому розміру відповідали комірки 1–4, середньому – 5–8 і більшому – 9–12. Для зручності в кожній комірці встановлювали центральну точку до котрої прив'язували отримані загальні коефіцієнти підсосу півмасок на випробувачах, що потрапили в конкретну комірку. Координати центральної точки наведені в таблиці 5.8. Були отримані рівняння регресії за допомогою Excel 2013 для Windows (SAS Institute Inc., Cary, N.C.). На останньому етапі підраховували частку випадків успішного проходження перевірки для кожної групи випробувачів (за розмірами облич), і для кожної моделі респіратора.

Таблиця 5.8 – Координати центральних точок

Тип обличчя	Номер комірки	Центральні точки всіх комірок	
		Ширина обличчя, м	Довжина обличчя, м
Невелике	1	121	101
	2	123	110
	3	135	103
	4	136	112
Середнє	5	146	105
	6	148	116
	7	124	124
	8	126	132
Велике	9	136	121
	10	146	125
	11	133	136
	12	148	137

На першому етапі досліджень були отримані середні значення загальних коефіцієнтів підсосу, з котрих вираховувався коефіцієнт проникання крізь фільтруючий матеріал півмаски. В результаті був визначений коефіцієнт підсосу півмаски через нещільності по смузі обтюрації. Зворотно пропорційною

величиною якого є КЩ, котрий і характеризує ізолюючі властивості півмаски. Усереднення коефіцієнта ізоляції півмаски кожного випробувача заносилось в відповідні комірки (1–12) двохпараметричної таблиці для респіраторів, що наведено на рис. 5.4. Встановлено, що коефіцієнти проникання моделей 1 і 2 відповідають вимогам ДСТУ EN 149:2017 до класу захисту FFP2. При цьому найбільш високі показники ізолюючих властивостей фіксувалися у випробувачів із середніми розмірами обличчя.

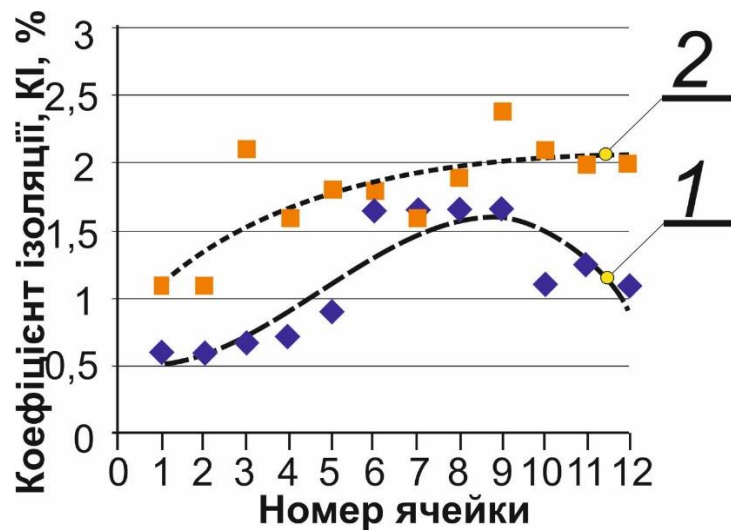


Рисунок 5.4 – Усереднені показники коефіцієнта щільності півмаски кожного учасника, що відповідають коміркам: «Лепесток» (1), дослідний (2)

На рис. 5.5 наведена залежність коефіцієнта щільності від ширини обличчя. Встановлено, що середнє геометричне коефіцієнта щільності збільшується з зростанням ширини обличчя від комірки 1 до комірки 12. Таким чином, існує взаємозв'язок між ізолюючими властивостями ПФР і комірками 2-х параметричної таблиці ($p < 0.05$).

В табл. 5.9 наводяться результати кореляційного і регресійного аналізу отриманих результатів, проведених з допомогою функції «Лінійн». Найбільш точна регресійна модель вийшла для півмаски першого типу.

Таблиця 5.9 – Результати дослідження кореляції

Модель маски	R^2	n	Лінійна регресія*А	p-value
«Лепесток»	0.5437	30	КЩ = $-4,2 + 0.17 * ДЛ + 0.026 * ШЛ$	<0.05
Дослідний	0.628	30	КЩ = $-6,8 + 0.034 * ДЛ + 0.031 * ШЛ$	<0.05

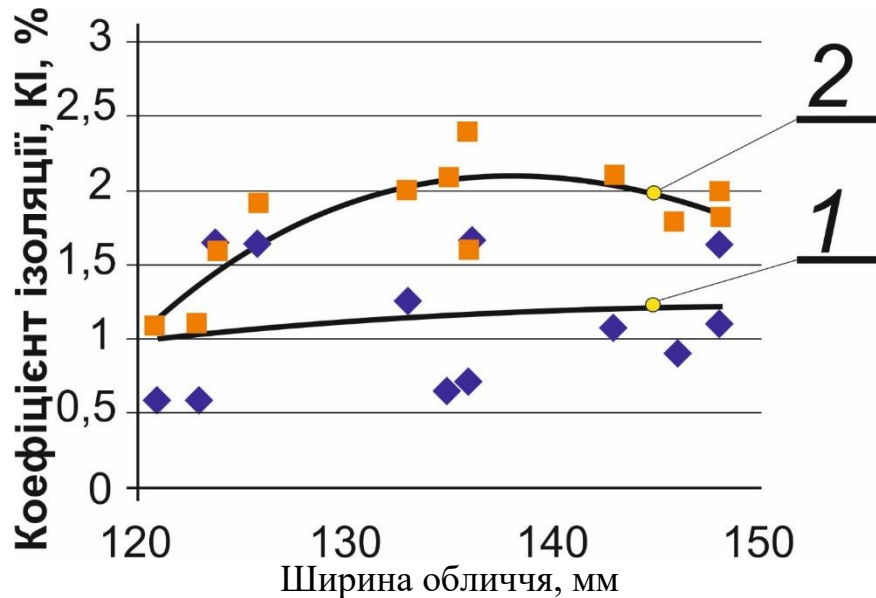


Рисунок 5.5 – Залежність коефіцієнта щільності півмаски від ширини обличчя випробувачів «Лепесток» (1), дослідний (2)

В табл. 5.10 наводяться середні геометричні значення коефіцієнта щільності для груп комірок 2-х параметричної таблиці.

Таблиця 5.10 – Середнє геометричне коефіцієнта щільності для масок різних розмірів в 2-х параметричній таблиці

Модель маски	Середнє геометрическое $K_{Щ}$ (Стандартне геом. відх.)		
	Невеликий розмір обличчя (комірки 1-4)	Середній розмір обличчя(комірки 5-8)	Великий розмір обличчя (комірки 9-12)
«Лепесток»	1,174	1,336	1,692
Дослідний	0,835	1,536	1,912

У випробувачів, котрі потрапили в комірки 9–12 2-параметричної таблиці, найкращі результати КЩ. У випробувачів, котрі потрапили в комірки 1–4 (відповідають невеликим обличчям), отримали найменше значення КЩ. Ці результати очікувалися, і вони підтверджують відповідність розмірів півмасок, що відповідають антропометричним розміру облич. Крім того, встановлено, що для перевірки захисних властивостей респіраторів випробувачів можна підбирати за довжиною і шириною обличчя.

Це дослідження демонструє взаємозв'язок між коефіцієнтом щільності півмасок і розміром обличчя випробувачів. Виявилось, що розмір півмаски впливає на результат виміру $K_{Щ}$ для різних комірок таблиці. При надяганні півмасок на обличчя невеликого розміру значення $K_{Щ}$ зменшуються, а для

великих облич – навпаки. Зменшення або збільшення $K_{\text{Щ}}$ має практичне значення [9]. Наприклад, для облич великих розмірів $K_{\text{Щ}}$ знаходиться в діапазоні 1,6–1,9, а для невеликого – 0,8 – 1,1 при цьому, коли мінімальна його величина, при котрому півмаска забезпечує достатній рівень захисту, не може бути менше 0,5 (межа при перевірці ізолюючих властивостей). Тобто, це вказує на достатньо високі ізолюючі властивостей перевірених півмасок [10]. При цьому ПФР (моделі 2) характеризується більш сталими показниками, можливо, через наявність ущільнювальної резинки по периметру обтюратора, котра підвищує його спроможність покращення ущільнення по смузі обтюрації. Однак мається порівняно невеликий відсоток людей, котрим півмаски можуть не забезпечити належний рівень захисту (табл. 5.11). Цей результат підтверджує необхідність індивідуального підбора респіраторів уже на робочому місці [11]. В той же час для робітників з великим розміром обличчя така перевірка не потрібна, оскільки КІ більше 1, що вказує на високі ізолюючі властивості півмасок. Подібні висновки можна зробити при аналізі результатів як для невеликих облич, так і для облич середнього розміру.

Таблиця 5.11 – Частка випробувачів, що успішно пройшли перевірку щільності прилягання для різних груп комірок таблиці за умови, що коефіцієнт ізоляції більше одиниці

Розмір обличчя	Частка (%) позитивних результатів перевірки
невеликих (комірки 1-4)	$2/8 = 25 \%$
середній(комірки 5-8)	$7/8 = 88 \%$
великий(комірки 9-12)	$8/8 = 100 \%$

На результат може вплинути і той факт, що визначення меж між обличчями невеликого, середнього і великого розмірів при використанні критеріїв таблиць частково довільно. Особливо це стосується розмірів, що потрапили в суміжні комірки, наприклад, 4 і 5 або 8, 9. Можливо, що випробувач з обличчям, близьким до середнього (а він знаходився в 4 комірці поряд з межею 4 комірки – середній розмір) вплинув на отриманий результат. Аналогічний результат вийшов і для облич других розмірів з цієї таблиці.

5.4. Рекомендації щодо підвищення захисту працівників при використанні фільтрувальних респіраторів

Підвищення частки випробувачів, які б успішно пройшли випробування, а також захисної ефективності ЗІЗОД можливо за умови використання спеціальної вставки з щілиною, в якій розміщена різнокольорова пластина з пружинкою, що закріплена на напівмасці (рис. 5.6). В залежності від прикладеного зусилля пружинка розтягується і дозволяє контролювати силу натягу, орієнтуючись на зміну кольору, яку видно через щілину спеціальної вставки. Червоний колір вказує про силу натягу більше 7 Н, яка призводить до утворення намінів через надмірний натяг СН [12]. В подальшому можливі поява больових відчуттів та виникнення некрозу на деяких ділянках обличчя. Помаранчевий колір вказує на недостатню силу натягу (менше 4 Н). В цьому випадку недостатня величина розтягування пружинки або зношення СН погіршить щільність прилягання напівмаски до обличчя та зменшить захисні властивості респіратора. Зелений колір вказує на оптимальну величину, яка знаходиться у діапазоні 5 – 6 Н, тобто при цій силі можливо забезпечити необхідну щільність прилягання напівмаски до обличчя без утворення негативних наслідків для користувача [13].

Вирішення даної задачі також можливе за рахунок розміщення у спеціальній вставці шматка еластомірного матеріалу із забарвленими відповідно до його еластичності зон різного кольору: червоний, помаранчевий, зелений, при розтягуванні якої в щілині спеціальної вставки буде відображатись те забарвлення яке відповідає величину прикладеної сили натягу.

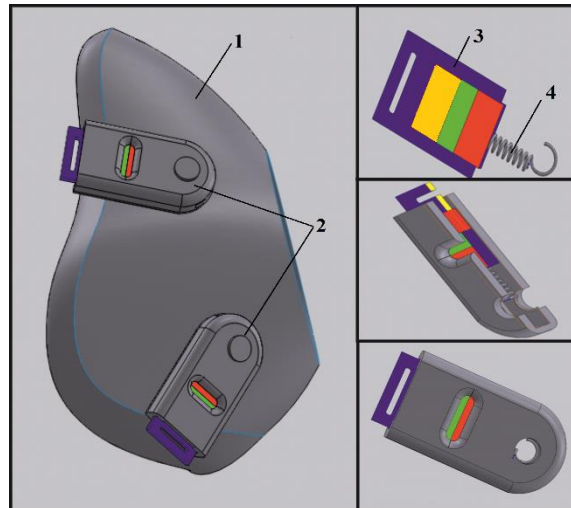


Рисунок 5.6 – Півмаска з спеціальною вставкою для контролю сили натягу СН: 1 – півмаска; 2 – спеціальні вставки для кріплення наголів'я; 3 – різнокольорова пластина; 4 – пружина

Ще одним рішенням задачі є створення фільтруючого респіратору з тактильною індикацією сили натягу еластичної стрічки, тобто з кращими, у порівнянні з іншими респіраторами ергономічними і експлуатаційними характеристиками.

Для цього шляхом заміни еластичної стрічки, що є у складі кріпильного гарнітуру (наголів'я) прототипу, каліброваною еластичною стрічкою 1 з приточеним до неї, як показано на рис. 5.7, у трьох місцях відрізком а'-с' шнура або тасьми 2 (А – неробоче становище наголів'я), довжина відокремлених ділянок а'-в', в'-с' котрого більша за довжину відокремлених ділянок а-в, в-с каліброваної еластичної стрічки 1 на величину її подовження у разі збільшення сили натягу від 4 до 7 Н (В – робоче становище наголів'я), зокрема при збільшенні сили натягу каліброваної еластичної стрічки 1 від 4 до 6,8 Н відбувається суміщення її частини а-в та частини а'-в' відрізка шнура або тасьми 2 (межі щільного, без намінів притискання півмаски до обличчя), а при подальшому збільшенні сили натягу еластичної стрічки 1 від 6,8 ÷ 7 Н відбувається суміщення її частини в-с та частини в'-с' відрізка шнура або тасьми 2 (межі докритичної сили натягу еластичної стрічки, при перевищенні якої утворюються болісні наміни на обличчі). Новим є використання у складі його наголів'я каліброваної за силою натягу еластичної стрічки (рис. 5.8), до котрої приточений відрізок тасьми таким чином, що довжина його двох

відокремлених ділянок більша за довжину відповідних відокремлених ділянок еластичної стрічки на величину їх подовження при збільшенні сили натягу від 4 до 6,8 Н і від 6,8 до 7,0 Н відповідно.

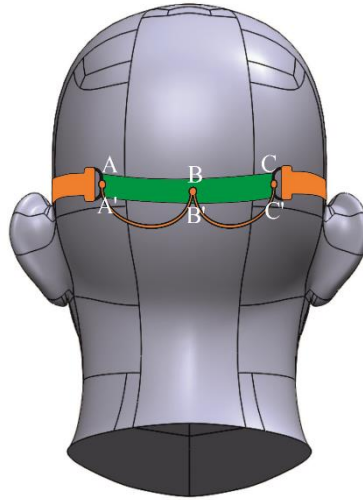


Рисунок 5.7 – Вигляд кріпильного гарнітура (наголів'я) фільтрувального респіратора

Також вирішити поставлену задачу можна шляхом заміни еластичної стрічки у одношаровій оплітці, що є у складі кріпильного гарнітуру (наголів'я), каліброваною еластичною стрічкою у трьохшаровій оплітці (рис. 5.9), що послідовно змінює колір при збільшенні сили її натягу. Наприклад, білий колір змінює на зелений при силі натягу стрічки $4 \div 6,8$ Н (межі комфортного, без намінів притискання півмаски до обличчя), зелений – на червоний, якщо відбулося перевищення докритичної сили її натягу 6,8 Н (при більшій силі натягу еластичної стрічки утворюються наміни на обличчі).

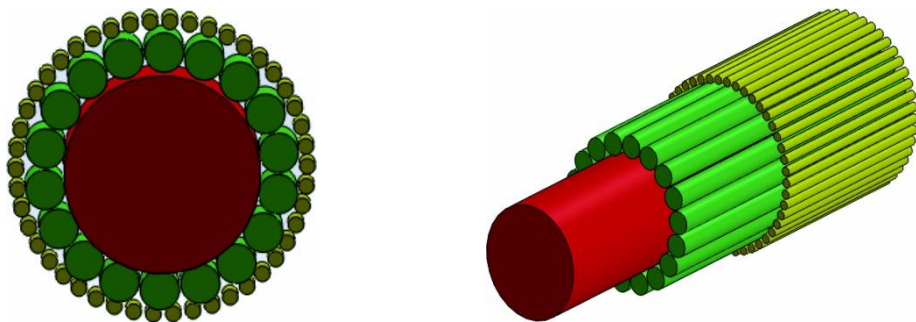


Рисунок 5.7 – Вигляд каліброваної еластичної стрічки

Інша можливість щодо виконання поставленої задачі – вбудовування у стандартну еластичну стрічку, що використовується у складі наголів'я

прототипу, відрізка каліброваної еластичної стрічки у трьохшаровій оплітці.

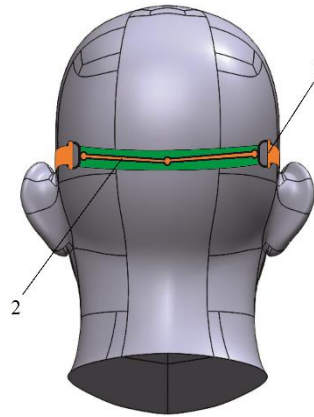


Рисунок 5.8 – Загальний наголів'я фільтрувального респіратора: 1 – наголів'я; 2 – калібрована еластична стрічка стрічки.

Новим у фільтрувальному респіраторі є використання у складі його наголів'я каліброваної за силою натягу еластичної стрічки, яка білий колір змінює на зелений при досягненні нижньої границі комфортної сили натягу наголів'я (4Н), зелений колір – на червоний при перевищенні докритичної сили натягу еластичної стрічки наголів'я (6,8 Н)*. Отже, зазначена сукупність істотних ознак дозволяє одержати кращий, у порівнянні з прототипом, технічний результат, який полягає в тому, що у корисній моделі в процесі підгонки респіратора до обличчя (забезпечення щільного і комфортного притискання обтюратора до обличчя) можливо здійснювати візуальну індикацію сили натягу наголів'я і на цієї основі швидко зробити висновок щодо придатності даної конструкції респіратора до експлуатації, зокрема щодо його відповідності вимогам до ефективності захисту і комфортної експлуатації під час виконання користувачем службових обов'язків.

Висновки до розділу 5

1. Встановлено взаємозв'язок між ізолювальними властивостями напівмасок та коефіцієнтом підсмоктування аерозолів за смугою обтюратору півмаски на обличчі з урахуванням різної сили натягу СН.

2. Підтверджено, що коефіцієнт підсосу респіратора зменшується зі збільшенням сили натягу, однак через нерівномірність притискних зусиль в

певних областях напівмаски утворюються зазори, які навпаки сприяють погіршенню захисних властивостей.

3. Встановлено, що коефіцієнт підсмоктування аерозолів в підмасковий простір респіратора залежить від розміщення точок кріплення наголів'я та напряму утвореної ним притискної сили, від якої виникає обертальний момент, що діє на напівмаску, та складається певне співвідношення дотичних та нормальних до обличчя сил. Ці сили під час руху півмаски призведуть до зсувів маски та утворенням зазорів, через які аерозоль підсмоктується в підмасковий простір.

4. Показано, що перші два процеси знімання і одягання напівмаски не впливають на притискні зусилля, при чому верхня СН чинить дещо більший тиск ніж нижня.

5. Запропоновано для контролю розтягування СН розміщення у спеціальній вставці шматка еластомірного матеріалу із забарвленими відповідно до його еластичності зон різного кольору: червоний, помаранчевий, зелений. При розтягуванні якої в щілині спеціальної вставки буде відображатись те забарвлення яке відповідає величину прикладеної сили натягу.

Основні результати дослідження опубліковані у [3, 4]

Література до розділу 5

1. Эннан А.А., Шнейдер В.Г., Байденко Н.И., Миронов А.А. *Взаимосвязь между защитной эффективностью и общим давлением респираторов.* Безопасность труда в промышленности. 1994. № 11. С. 11–12.
2. Эннан А.А., Байденко В.И., Климова Л.В., Белинский Е.Е. *Математическое моделирование конструкции облегченного респиратора типа «Снежок».* Тр. 1–ой Междунар. научн.–практ. конф. «Защита окружающей среды, здоровье, безопасность в сварочном производстве», 11–13 сент. 2002 г., г. Одесса: Астропринт, 2002. С. 255–276.

3. Cheberiachko S, Pustovoi D, Knysh I., Sharovatova O. *Research of Operational Properties of Household Fabrics for Production of Protective Masks*. Mater. Sci. Forum. 2021. Vol. 1038. P. 221–232. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.221
4. Чеберячко С.І., Книш І.М. *Тенденції розвитку сучасних фільтрувальних протиаерозольних півмасок*. II Міжнародна науково-практична конференція “Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи”. Київ, 4–5 червня 2019. С. 246–251.
5. Zhuang Z., Slice D., Benson S., Landsittel D., Viscusi D. *Facial Shape Variation of U.S. Respirator Users*. International Conference on Digital Human Modeling. ICDHM 2009. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 5620. Springer, Berlin, Heidelberg. P. 578-587. DOI: 10.1007/978-3-642-02809-0_61
6. Lacko D., Huysmans T., Parizel P.M., De Bruyne G., Verwulgen S., Van Hulle M., Sijbers J.. *Evaluation of an anthropometric shape model of the human scalp* Appl. Erg. 2015. Vol. 48. P. 70–85. DOI: 10.1016/j.apergo.2014.11.008
7. Голінько В.І., Чеберячко С.І, Книш І.М. *На захисті дихання*. Охорона праці і пожежна безпека. 2019. № 3. С. 23–28.
8. Han D.H., Lee J. *Evaluation of particulate filtering respirators using inward leakage (IL) or total inward leakage (TIL) testing – Korean experience*. Ann. Occup. Hyg. 2005. Vol. 49, N 7. P. 569–574. DOI: 10.1093/annhyg/mei034
9. Zhuang Z., Benson S., Viscusi D. *Digital 3-D headforms with facial features representative of the current US workforce*. Ergonomics. 2010. Vol. 53, N 5. P. 661–671. DOI: 10.1080/00140130903581656
10. Han D.-H. *Correlations between Workplace Protection Factors and Fit Factors for Filtering Facepieces in the Welding Workplace*. Ind. Health. 2002. Vol. 40, N 4. P. 328–334. DOI: 10.2486/indhealth.40.328
11. Zacharopoulos G.V., Manios A., Kau C.H., Velagrakis G., Tzanakakis G.N., De Bree E. *Anthropometric analysis of the face*. J. Craniofac. Surg. 2016. Vol. 27, N 1. P. e71–e75. DOI: 10.1097/SCS.0000000000002231
12. Zhuang Z., Bradtmiller B. *Head-and-face anthropometric survey of U.S.*

- respirator users*. J. Occup. Env. Hyg. 2005. Vol. 2, N 11. P. 567–576. DOI: 10.1080/15459620500324727
13. Wong K.W.F., Keeling A., Achal K., Khambay B. *Using three-dimensional average facial meshes to determine nasolabial soft tissue deformity in adult UCLP patients*. Surgeon. 2019. Vol. 17, N 1. P. 19–27. DOI: 10.1016/j.surge.2018.04.006
14. Bugaighis I., Tiddeman B., Mattick C.R., Hobson R. *3D comparison of average faces in subjects with oral clefts*. Eur. J. Orthod. 2014. Vol. 36, N 4. P. 365–372. DOI: 10.1093/ejo/cjs060
15. Shan Z., Hsung R.T.C., Zhang C., Ji J., Choi W.S., Wang W., Yang Y., Gu M., Khambay B.S. *Anthropometric accuracy of three-dimensional average faces compared to conventional facial measurements*. Sci. Rep. 2021. Vol. 11. An 12254. DOI: 10.1038/s41598-021-91579-4

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, що є завершеною науковою роботою, подано вирішення актуального науково-прикладного завдання, що полягає у забезпеченні захисту органів дихання працівників від дії АЕДЧ шляхом розробки і впровадження універсальної конструкції фільтрувального протипилового респіратора, півмаска котрого придатна для використання працівниками з антропометричними особливостями обличчя, тобто стійко і щільно прилягає до обличчя по смузі обтюрації підчас експлуатації респіраторів, а також засобів індикації щільного і рівномірного прилягання обтюратора до обличчя без утворення вм'ятин та отримані наступні результати:

1. Виконано аналіз літературних даних щодо розробки, освоєння виробництва, впровадження, експлуатації та зберігання респіраторів. Висвітлено суттєві недоліки з оцінки їх якості, зокрема, потенційну їх небезпеку для користувачів, коли ігнорується можливість проникання шкідливих аерозолів у підмасковий простір, а, точніше, необхідність законодавчо встановленої профілактики дихання шляхом використання лише респіраторів відповідного типу і класу, функціональне призначення яких відповідає умовам експлуатації, ергономічним та санітарно-гігієнічним вимогам.

2. Запропонований швидкий метод оцінки щільності прилягання півмаски до обличчя з використанням термографування поверхні обтюратора який дозволяє за рахунок обробки і порівняння зображення з еталонним знімком смуги обтюрації за допомогою засобів математичного середовища Matlab, розрахувати коефіцієнт щільності прилягання ЗІЗОД до обличчя з урахуванням з урахуванням сили натягу наголів'я, що дозволяє попередньо визначити коефіцієнт захисту ЗІЗОД.

3. Запропоновано метод з визначення коефіцієнта підсмоктування тест-аерозолію на добровольцях за смугою обтюрації півмаски з урахуванням

величини сили натягу стрічок наголів'я респіратору, за рахунок використання спеціального гнучкого датчику Conductive Rubber Cord Stretch Sensor, виконаного у вигляді еластичного шнура, електричний опір якого при розтягуванні змінюється лінійно.

4. Удосконалено метод проектування легких півмасок, який складається з чотирьох кроків: аналіз умов праці та вибір необхідного фільтрувального матеріалу; обробка антропометричних розмірів осіб потенційних користувачів; проектування 3D-моделі каркаса півмаски; лабораторна перевірка захисних властивостей готового виробу та внесення змін в конструкцію, який відрізняється від відомих наявністю механізму побудови декількох 3D моделей голови, які забезпечують допустиму щільність прилягання півмаски для 95 % потенційних користувачів.

5. Визначено основні антропометричні розміри облич користувачів, які найбільше впливають на щільність прилягання півмасок до обличчя; на їх основі були побудовані п'ять полігональних 3D-моделей голови, що охоплюють 95 % потенційних користувачів, виходячи із ключових координат 3D-моделей голови методом інтерполяції побудовано поверхню півмаски.

6. Показано, що у півмасок, в основі розрахунку поверхні яких були розміри довжини і ширини обличчя сумарна площа смуги обтюрації у 1,4 рази більша, ніж у півмасок, поверхня яких будувалась за довжиною обличчя і губ, що дозволило у першому варіанті покращити захисні властивості.

7. Розроблено нову конструкцію каркаса фільтрувальної легкої півмаски зі змінною геометрією обтюратора, що дозволяє змінювати розмір смуги обтюрації, за рахунок наявності спеціальних точок кріплення, які спільно з розміщеним по периметру каркаса в спеціальному каналі, гумовим шнуром, який закріплює фільтрувальний елемент, дозволяє змінювати розмір півмаски відповідно до розмірів особи користувача.

8. Запропоновано алгоритм проектування наголів'я фільтрувальної півмаски, за основу використовує ключові антропометричні точки, що визначаються за даними цифрової 3D-моделі голови, який складається з

трьох кроків: визначення розмірів зон обличчя, які характеризуються однакою пружністю ділянок; встановлення параметрів сітки для деталізації областей дослідження, яка наноситься на моделі обличчя і півмаску та розрахунок площі контакту між півмаскою і обличчям для оцінки щільності прилягання через порівняння встановлених контактних плям; реалізація такого підходу дозволяє швидко перевіряти розподіл притискних зусиль у запропонованих моделях наголів'я та раціоналізувати конструкцію вже існуючих за площею прилягання півмаски до обличчя і величиною тиску на голову користувача.

9. Встановлено, що коефіцієнт підсмоктування аерозолів в підмасковий простір респіратора залежить від розміщення точок кріплення наголів'я та напряму утвореної ним притискної сили, від якої виникає обертальний момент, що діє на півмаску, та складається певне співвідношення дотичних та нормальних до обличчя сил. Ці сили під час руху півмаски призведуть до зсувів маски та утворенням зазорів, через які аерозоль підсмоктується в підмасковий простір.

10. Запропоновано для контролю розтягування стрічок наголів'я розміщення у спеціальній вставці шматка еластомірного матеріалу із забарвленими відповідно до його еластичності зон різного кольору: червоний, помаранчевий, зелений. При розтягуванні якої в щіліні спеціальної вставки буде відображатись те забарвлення яке відповідає величину прикладеної сили натягу.

11. Розроблені імпортозамінюючі імпрегновані волокнисті хемосорбенти основних газів, які забезпечують нормовані вимоги для протигазових фільтрів класу K1 (аміак) при вологості вдихуваного повітря $\geq 30\%$. Вказаному хемосорбенту надано функцію "спрацьовування" динамічної поглинальної ємності, яка візуально визначається за зміною забарвлення протигазових елементів під час "проскоку" токсиканту.

Додаток А. Набір антропометричних розмірів учасників експерименту

Таблиця А – антропометричні розміри

Но- мер	Пол	Ро- ки	Зріст, см	Маса, кг	Ок- руж- ність голо- ви, мм	Ши- рина голо- ви, мм	Дов- жина голо- ви, мм	Фрон- тальна дов- жина дуги, мм	Дов- жина дуги через лоб від вуха до вуха, мм	Ок- руж- ність шиї, мм	Ши- ри- на ло- ба, мм	Шир- ина лоба за бро- вами, мм	Відс- тань між зіни- цями очей, мм	Ши- рина обли- ччя за кута- ми ниж- ньої щелепи, мм	Дов- жина обли- ччя, мм	Дов- жина від підбо- ріддя до перені- сся, мм	Дов- жина губ, мм	Випу- клість носа, мм	Дов- жина носа, мм	Відс- тань від підбо- ріддя до носу, мм	Шир- ина носа, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P049	Чол.	23	165	78	556	151	178	273	278	309	120	107	59,0	124	90	112	45	18	36	45	19
P011	Чол.	21	170	58	539	145	170	284	275	314	112	101	56,0	115	94	102	40	14	39	45	15
P009	Чол.	25	178	68	539	145	175	272	256	247	117	105	58,0	121	95	112	43	16	37	43	17
P068	Чол.	21	168	56	563	154	176	284	297	295	119	106	58,5	122	95	106	44	17	36	42	18
P004	Чол.	21	173	60	532	140	171	270	269	305	113	102	56,0	116	96	99	40	15	39	41	16
P020	Чол.	21	167	52	545	147	175	283	265	309	117	105	58,0	121	96	99	43	16	37	40	18
P109	Жін	23	157	48	575	159	182	310	309	361	122	110	60,0	127	96	109	47	19	34	44	19
P031	Чол.	21	178	56	551	150	172	275	275	291	114	103	57,0	118	97	106	42	15	38	48	17
P032	Чол.	21	170	63	552	150	175	294	289	358	118	105	58,0	121	97	108	43	17	37	38	18
P057	Чол.	21	180	70	559	152	171	289	282	305	114	103	57,0	118	98	109	41	15	38	42	17
P069	Чол.	21	170	75	563	154	173	284	290	309	116	104	58,0	119	98	97	42	16	37	49	17
P021	Чол.	21	185	64	546	147	172	285	278	326	114	103	57,0	118	99	96	42	15	38	48	17
P036	Чол.	21	165	60	553	150	173	278	264	336	115	104	57,5	119	99	90	42	16	38	39	17
P025	Чол.	23	180	64	549	149	181	274	273	305	121	109	60,0	126	99	109	46	19	35	38	19
P037	Чол.	21	177	68	553	150	165	283	267	298	109	96	54,0	106	100	105	36	13	42	38	13
P003	Чол.	21	187	67	531	139	167	287	265	323	110	98	54,5	110	101	109	36	13	42	41	14
P005	Чол.	26	170	88	535	141	170	275	278	293	112	101	56,0	115	101	114	39	14	39	42	15
P100	Чол.	27	174	64	571	157	181	295	283	344	121	109	60,0	126	101	96	47	19	35	47	19

Продовження таблиця А – антропометричні розміри

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P007	Чол.	24	177	83	536	144	166	258	265	305	109	96	54,0	107	102	96	36	13	42	45	14
P048	Чол.	23	173	50	556	151	170	279	275	325	112	101	56,0	115	102	92	40	15	39	44	16
P040	Чол.	21	188	71	554	151	175	289	280	312	118	105	58,0	121	102	97	43	17	37	44	18
P074	Чол.	25	165	98	564	154	174	279	280	301	117	104	58,0	120	103	100	43	16	37	47	17
P013	Чол.	21	171	57	540	146	175	275	266	298	117	105	58,0	121	103	100	43	16	37	43	18
P041	Чол.	21	174	55	554	151	175	281	291	309	118	105	58,0	121	103	100	43	17	37	40	18
P089	Чол.	24	177	76	569	157	177	292	278	318	119	106	59,0	123	103	105	45	17	36	45	18
P161	Жін	22	161	44	591	163	184	305	303	409	123	111	61,0	128	103	120	48	20	34	47	20
P030	Чол.	23	173	59	551	149	167	269	254	287	111	99	55,0	113	104	100	38	14	41	45	14
P054	Чол.	21	174	72	558	152	168	283	270	360	112	101	55,5	114	104	107	39	14	40	46	15
P015	Чол.	21	179	88	543	147	171	271	262	293	113	102	56,5	116	104	104	40	15	39	45	16
P033	Чол.	21	180	75	552	150	171	285	270	315	114	102	56,5	117	104	105	40	15	38	42	16
P042	Чол.	21	180	65	554	151	171	295	270	303	114	102	56,5	117	104	109	40	15	38	41	16
P024	Чол.	21	171	55	549	149	174	284	283	308	116	104	58,0	120	104	105	42	16	37	39	17
P079	Чол.	21	173	55	566	155	177	288	287	342	119	106	59,0	123	104	113	44	17	36	46	18
P134	Жін	21	153	58	582	161	182	309	292	385	122	110	60,0	127	104	97	47	19	34	47	19
P179	Жін	21	158	50	596	166	183	305	290	359	123	111	61,0	128	104	108	48	20	34	53	20
P006	Чол.	21	163	60	535	144	164	270	265	331	107	90	52,0	105	105	100	34	11	46	48	13
P019	Чол.	21	158	45	545	147	165	260	265	313	108	95	53,0	106	105	99	35	12	42	45	13
P097	Чол.	28	175	80	571	157	177	280	271	328	119	106	59,0	123	105	111	45	17	36	43	18
P018	Чол.	21	185	76	545	147	179	275	278	309	120	108	59,0	125	105	113	45	18	35	48	19
P067	Чол.	21	179	71	563	153	180	292	278	292	120	108	59,5	125	105	101	46	18	35	54	19
P103	Жін	22	166	57	573	158	180	310	301	352	121	108	59,5	125	105	105	46	18	35	46	19
P120	Жін	21	157	42	578	159	185	293	295	407	124	111	61,0	129	105	120	49	20	34	39	20
P058	Чол.	21	170	66	560	152	187	300	290	349	124	113	61,5	130	105	109	50	20	33	47	20
P084	Чол.	22	167	66	567	156	187	277	277	375	124	113	61,5	130	105	110	50	20	33	44	20

Продовження таблиця А – антропометричні розміри

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P127	Жін	24	155	45	580	160	190	290	295	355	126	115	63,0	131	105	112	51	21	32	52	21
P052	Чол.	21	176	52	557	152	171	287	280	328	114	103	57,0	117	106	104	41	15	38	44	16
P066	Чол.	22	174	60	562	153	180	283	278	330	120	108	59,5	125	106	110	45	18	35	50	19
P087	Чол.	22	164	55	568	156	181	292	283	349	121	109	60,0	126	106	111	47	19	35	45	19
P110	Жін	22	155	45	575	159	181	300	292	342	121	109	60,0	126	106	100	47	19	35	47	19
P133	Жін	21	157	51	581	161	183	290	285	349	122	110	60,5	127	106	112	47	19	34	48	20
P157	Жін	23	155	45	589	163	190	298	285	349	128	115	63,0	131	106	111	51	21	32	46	22
P062	Чол.	21	176	60	561	153	172	278	283	319	115	103	57,0	118	107	116	42	15	38	47	17
P077	Чол.	21	164	57	565	155	175	292	278	307	118	105	58,0	122	107	118	43	17	37	43	18
P056	Чол.	21	167	54	559	152	176	296	276	337	118	106	58,5	122	107	102	44	17	36	45	18
P063	Чол.	21	170	65	561	153	177	280	265	313	119	106	59,0	123	107	108	44	17	36	42	18
P075	Чол.	24	180	75	565	154	177	275	265	317	119	106	59,0	123	107	95	44	17	36	41	18
P073	Чол.	23	172	61	564	154	179	330	285	320	120	108	59,0	125	107	94	45	18	35	46	19
P091	Чол.	26	177	68	570	157	191	303	274	370	128	115	63,0	132	107	108	52	21	32	44	22
P178	Жін	22	166	60	596	166	194	301	285	372	132	118	65,5	135	107	121	53	22	31	48	23
P010	Чол.	22	175	85	539	145	167	278	267	308	110	98	54,5	111	108	111	38	13	41	48	14
P065	Чол.	21	174	68	562	153	169	285	268	331	112	101	56,0	114	108	105	39	14	40	45	15
P027	Чол.	21	177	70	550	149	172	284	264	301	114	103	57,0	118	108	106	42	15	38	49	17
P016	Чол.	21	181	80	544	147	174	270	271	278	116	104	58,0	120	108	98	42	16	37	45	17
P135	Жін	22	164	58	583	161	185	303	295	413	124	112	61,0	129	108	121	49	20	34	45	20
P126	Жін	22	158	47	580	160	188	308	294	353	125	114	62,0	131	108	104	50	20	33	46	21
P158	Жін	27	162	60	589	163	190	301	291	358	128	115	63,0	131	108	110	51	21	32	45	22
P047	Чол.	22	171	80	555	151	173	287	270	313	116	104	58,0	119	109	107	42	16	37	38	17
P092	Чол.	30	176	88	570	157	178	292	280	368	120	107	59,0	124	109	117	45	18	35	43	19
P012	Чол.	22	180	65	539	145	168	281	275	295	111	100	55,5	114	110	90	38	14	41	46	15
P094	Чол.	26	178	80	570	157	176	280	270	313	119	106	58,5	122	110	100	44	17	36	43	18

Продовження таблиця А – антропометричні розміри

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P096	Чол.	27	180	73	570	157	176	285	284	321	119	106	58,5	122	110	105	44	17	36	47	18
P022	Чол.	23	168	52	547	147	177	283	270	292	119	106	59,0	122	110	106	44	17	36	49	18
P150	Жін	22	160	65	587	162	177	308	300	384	120	107	59,0	124	110	126	45	18	36	46	19
P156	Жін	21	156	41	589	163	179	311	300	393	120	108	59,5	125	110	125	45	18	35	48	19
P078	Чол.	23	172	75	566	155	180	290	280	361	121	108	59,5	125	110	110	46	18	35	45	19
P070	Чол.	21	171	77	563	154	181	270	280	307	121	109	60,0	126	110	103	46	19	35	50	19
P083	Чол.	21	173	68	567	156	182	295	280	306	122	109	60,0	126	110	105	47	19	35	48	19
P088	Чол.	22	176	70	569	156	182	285	275	355	122	109	60,0	126	110	108	47	19	35	50	19
P177	Жін	24	163	60	596	166	183	305	283	356	123	111	60,5	127	110	107	48	20	34	45	20
P166	Жін	21	160	55	592	164	184	299	296	362	123	111	61,0	128	110	112	48	20	34	46	20
P147	Жін	21	157	56	586	162	185	318	295	336	124	112	61,0	129	110	120	49	20	34	47	20
P181	Жін	23	156	47	598	167	186	320	322	440	124	113	61,5	130	110	138	50	20	33	46	20
P116	Жін	23	159	56	577	159	187	297	293	350	124	113	61,5	130	110	110	50	20	33	48	21
P121	Жін	21	151	42	578	160	188	297	298	357	125	114	62,0	131	110	103	50	20	33	52	21
P192	Жін	23	168	60	605	170	192	329	316	384	130	116	64,0	133	110	114	52	22	31	50	22
P050	Чол.	21	172	86	557	152	164	283	285	284	108	92	52,5	106	111	94	35	11	44	45	13
P014	Чол.	21	180	68	542	146	167	294	270	288	110	99	55,0	112	111	103	38	13	41	45	14
P187	Жін	21	162	61	600	168	170	285	308	396	112	102	56,0	115	111	123	40	15	39	47	16
P008	Чол.	24	172	70	536	144	174	267	269	305	116	104	58,0	120	111	103	42	16	37	47	17
P034	Чол.	21	174	83	553	150	175	297	275	331	118	105	58,0	121	111	106	43	17	37	43	18
P099	Чол.	30	172	68	571	157	177	275	275	331	119	106	59,0	123	111	106	45	17	36	47	18
P039	Чол.	21	169	63	554	151	178	295	290	322	120	107	59,0	124	111	111	45	18	36	44	19
P108	Жін	23	152	65	574	158	180	300	285	340	121	108	59,5	125	111	120	46	18	35	47	19
P115	Жін	21	168	55	577	159	180	288	279	334	121	108	59,5	125	111	111	46	18	35	49	19
P076	Чол.	27	180	83	565	154	184	285	270	318	123	111	61,0	128	111	115	48	20	34	43	20
P144	Жін	21	163	45	585	162	185	283	295	367	124	112	61,0	129	111	114	49	20	34	48	20

Продовження таблиця А – антропометричні розміри

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P164	Жін	21	162	58	591	164	185	310	295	334	124	112	61,5	129	111	109	49	20	34	52	20
P143	Жін	21	162	53	585	162	190	315	303	345	127	115	63,0	131	111	114	51	21	32	53	21
P195	Жін	27	168	56	608	170	195	310	302	392	132	121	66,5	137	111	112	54	23	30	49	23
P203	Жін	25	157	62	627	172	197	324	326	423	134	122	67,5	141	111	136	55	23	30	46	23
P017	Чол.	21	173	55	545	147	168	285	285	330	111	100	55,5	114	112	115	39	14	40	52	15
P023	Чол.	22	176	78	549	148	171	275	259	304	113	102	56,5	117	112	87	40	15	39	45	16
P026	Чол.	21	160	53	550	149	171	280	269	321	113	102	56,5	117	112	114	40	15	38	42	16
P125	Жін	22	165	75	579	160	171	300	290	328	114	103	57,0	118	112	112	41	15	38	45	17
P043	Чол.	24	173	109	555	151	176	285	278	354	118	106	58,5	122	112	95	44	17	36	54	18
P060	Чол.	22	174	70	560	152	176	286	270	321	118	106	58,5	122	112	90	44	17	36	45	18
P085	Чол.	22	166	77	567	156	177	274	264	327	119	106	59,0	123	112	104	45	17	36	49	18
P106	Жін	23	168	62	574	158	177	305	305	393	119	107	59,0	123	112	122	45	17	36	52	18
P152	Жін	23	169	59	587	162	181	287	287	345	121	109	60,0	126	112	104	47	19	35	43	19
P138	Жін	21	164	52	583	161	182	293	285	338	122	110	60,0	127	112	111	47	19	34	45	20
P175	Жін	24	156	50	595	165	183	310	302	357	123	111	60,5	127	112	114	48	20	34	44	20
P038	Чол.	21	171	60	553	151	186	290	280	348	124	113	61,5	130	112	112	50	20	33	43	20
P155	Жін	23	162	53	589	163	187	308	300	368	125	114	62,0	130	112	113	50	20	33	55	21
P196	Жін	25	159	44	612	170	192	318	310	390	130	117	64,0	134	112	116	52	22	31	45	22
P180	Жін	22	160	56	597	167	196	295	298	396	133	121	67,0	137	112	112	54	23	30	50	23
P113	Жін	22	163	59	576	159	172	292	287	327	115	103	57,5	119	113	117	42	16	38	50	17
P044	Чол.	21	163	62	555	151	173	291	278	332	115	104	58,0	119	113	91	42	16	37	52	17
P028	Чол.	22	178	53	550	149	174	270	256	308	117	104	58,0	120	113	101	43	16	37	47	17
P132	Жін	22	160	47	581	161	174	285	258	325	117	104	58,0	121	113	107	43	16	37	50	17
P051	Чол.	21	170	63	557	152	177	290	267	314	119	106	59,0	123	113	95	44	17	36	48	18
P105	Жін	22	155	66	574	158	177	303	295	375	119	107	59,0	123	113	110	45	17	36	45	18
P081	Чол.	22	170	70	567	156	178	289	295	363	120	107	59,0	124	113	106	45	18	35	50	19

Продовження таблиця А – антропометричні розміри

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P123	Жін	24	168	52	578	160	178	295	285	342	120	107	59,0	124	113	106	45	18	35	51	19
P140	Жін	23	156	65	584	161	178	278	285	367	120	107	59,0	124	113	116	45	18	35	50	19
P001	Чол.	21	177	58	590	135	190	308	298	394	126	115	62,5	131	113	97	51	21	32	48	21
P114	Жін	22	163	95	576	159	183	285	274	328	122	110	60,0	127	114	111	47	19	34	48	20
P149	Жін	22	162	51	587	162	184	315	289	358	123	111	61,0	128	114	111	48	20	34	47	20
P159	Жін	21	155	42	590	163	186	315	308	400	124	113	61,5	130	114	114	50	20	33	49	20
P046	Чол.	22	180	72	555	151	192	274	272	322	129	116	63,5	133	114	106	52	22	32	48	22
P160	Жін	21	168	49	590	163	194	312	297	380	131	118	65,0	135	114	95	53	22	31	53	22
P053	Чол.	21	177	68	558	152	171	305	293	326	114	103	57,0	117	115	106	41	15	38	47	16
P061	Чол.	25	168	61	560	153	172	295	277	308	115	103	57,0	118	115	100	42	15	38	49	17
P029	Чол.	21	164	80	551	149	175	295	275	310	117	105	58,0	121	115	105	43	17	37	55	18
P093	Чол.	27	172	65	570	157	177	285	280	370	119	106	59,0	123	115	108	45	17	36	51	18
P002	Чол.	23	178	69	457	139	178	295	280	333	120	107	59,0	124	115	100	45	18	36	45	19
P086	Чол.	21	172	66	567	156	181	277	275	317	121	109	60,0	126	115	103	47	19	35	51	19
P167	Жін	22	159	51	592	164	181	310	295	368	121	109	60,0	126	115	112	47	19	35	44	19
P199	Жін	22	159	52	616	171	181	298	298	451	122	109	60,0	126	115	138	47	19	35	44	19
P151	Жін	22	150	44	587	162	183	289	283	353	123	111	60,5	127	115	118	48	19	34	45	20
P148	Жін	21	156	50	586	162	184	300	290	308	123	111	61,0	128	115	106	48	20	34	48	20
P130	Жін	21	168	65	580	160	187	300	265	343	125	114	62,0	130	115	119	50	20	33	45	21
P142	Жін	21	157	49	585	162	187	295	298	400	125	114	62,0	130	115	112	50	20	33	46	21
P176	Жін	23	157	53	596	166	190	320	302	365	128	115	63,0	131	115	114	52	21	32	50	22
P182	Жін	21	151	42	599	167	191	305	295	347	128	116	63,5	133	115	120	52	22	32	51	22
P205	Жін	28	163	53	643	174	204	336	312	415	139	126	71,0	145	115	132	61	26	28	45	25
P101	Чол.	30	176	74	572	157	172	295	284	364	115	103	57,0	118	116	114	42	15	38	44	17
P045	Чол.	21	183	65	555	151	175	283	275	316	118	105	58,0	121	116	107	43	17	37	47	18
P059	Чол.	22	180	95	560	152	175	290	275	330	118	105	58,0	121	116	115	43	17	37	48	18

Продовження таблиця А – антропометричні розміри

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P071	Чол.	23	188	76	563	154	181	274	270	322	121	109	60,0	126	116	130	46	19	35	42	19
P145	Жін	22	171	57	585	162	181	268	255	341	121	109	60,0	126	116	111	47	19	35	52	19
P098	Чол.	30	168	68	571	157	183	312	317	378	122	110	60,0	127	116	110	47	19	34	44	20
P184	Жін	25	165	47	599	168	192	310	298	330	130	116	64,0	133	116	110	52	22	31	44	22
P190	Жін	24	167	57	603	169	198	295	278	303	135	123	68,0	141	116	104	55	23	30	51	23
P102	Жін	22	164	50	573	158	176	310	315	458	119	106	59,0	122	117	127	44	17	36	43	18
P153	Жін	21	166	53	588	162	191	309	315	347	128	116	63,0	132	117	118	52	21	32	50	22
P162	Жін	21	161	60	591	164	195	307	285	364	132	120	66,0	135	117	114	54	23	31	47	23
P193	Жін	27	157	51	606	170	195	308	293	378	132	120	66,5	136	117	112	54	23	31	53	23
P204	Жін	24	159	47	631	173	199	339	317	398	136	123	68,0	141	117	127	56	25	29	41	24
P035	Чол.	21	191	66	553	150	167	283	261	287	111	100	55,0	113	118	107	38	14	41	53	14
P090	Чол.	24	163	62	570	157	173	295	288	375	116	104	58,0	119	118	114	42	16	37	48	17
P080	Чол.	21	175	80	567	155	181	293	278	348	121	109	60,0	126	118	106	46	19	35	45	19
P111	Жін	22	157	41	576	159	183	313	301	368	122	110	60,0	127	118	98	47	19	34	53	20
P168	Жін	21	155	58	593	164	184	295	275	326	123	111	61,0	128	118	90	48	20	34	45	20
P107	Жін	22	167	52	574	158	185	310	293	385	124	111	61,0	129	118	110	49	20	34	48	20
P174	Жін	26	161	55	595	165	191	305	285	347	128	116	63,5	133	118	125	52	21	32	50	22
P173	Жін	23	153	56	595	165	192	320	321	380	129	116	64,0	133	118	103	52	22	32	55	22
P185	Жін	22	158	54	600	168	193	308	296	373	130	117	64,5	134	118	119	52	22	31	47	22
P194	Жін	24	170	56	606	170	194	295	289	416	132	119	66,0	135	118	127	54	23	31	55	23
P170	Жін	21	156	56	594	165	197	315	294	367	133	121	67,0	138	118	107	55	23	30	47	23
P118	Жін	23	163	45	577	159	177	293	285	341	120	107	59,0	124	119	96	45	18	36	49	18
P119	Жін	23	159	56	578	159	178	302	285	372	120	107	59,0	124	119	100	45	18	35	49	19
P169	Жін	21	157	58	594	165	180	304	285	350	121	109	60,0	126	119	103	46	19	35	55	19
P139	Жін	22	155	42	584	161	183	315	300	403	123	110	60,5	127	119	120	47	19	34	53	20
P136	Жін	22	160	54	583	161	187	305	295	377	125	114	62,0	130	119	110	50	20	33	42	21

Продовження таблиця А – антропометричні розміри

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
P186	Жін	22	152	50	600	168	188	319	303	403	125	114	62,0	131	119	111	50	21	33	50	21
P112	Жін	22	160	50	576	159	175	294	285	365	118	105	58,0	122	120	110	43	17	37	53	18
P124	Жін	22	159	48	579	160	180	305	288	350	121	108	59,5	125	120	111	46	18	35	53	19
P095	Чол.	24	171	60	570	157	181	290	290	326	121	109	60,0	126	120	122	47	19	35	51	19
P188	Жін	25	156	57	602	168	185	315	302	411	124	112	61,5	130	120	125	50	20	34	51	20
P154	Жін	23	153	45	588	162	190	305	310	357	127	115	63,0	131	120	108	51	21	32	55	21
P206	Жін	30	162	63	648	174	204	337	330	489	141	126	71,0	145	120	131	62	28	27	55	26
P129	Жін	22	169	53	580	160	185	305	300	377	124	112	61,0	129	121	109	49	20	34	51	20
P128	Жін	23	160	62	580	160	187	295	285	376	125	114	62,0	130	121	105	50	20	33	50	21
P163	Жін	21	165	49	591	164	187	319	298	380	125	114	62,0	130	121	111	50	20	33	48	21
P189	Жін	24	168	75	602	169	187	318	309	404	125	114	62,0	130	121	112	50	20	33	50	21
P183	Жін	21	157	49	599	167	194	307	294	383	132	119	66,0	135	121	132	53	22	31	47	23
P198	Жін	26	163	76	613	170	202	332	320	392	138	126	70,0	144	121	129	60	25	28	49	24
P117	Жін	23	158	46	577	159	174	294	280	384	117	104	58,0	120	122	115	43	16	37	51	17
P082	Чол.	22	178	78	567	156	179	305	275	367	120	108	59,5	125	122	104	45	18	35	51	19
P072	Чол.	24	174	65	564	154	180	294	285	335	120	108	59,5	125	122	105	46	18	35	51	19
P104	Жін	22	167	54	574	158	182	299	288	377	122	110	60,0	127	122	113	47	19	35	50	19
P171	Жін	21	161	50	594	165	193	295	294	400	130	117	64,0	134	122	112	52	22	31	39	22
P202	Жін	24	162	60	625	172	201	329	329	429	136	125	69,5	142	122	115	56	25	28	45	24
P122	Жін	21	162	52	578	160	185	302	285	383	124	112	61,0	129	123	114	49	20	34	42	20
P191	Жін	23	165	53	605	169	193	313	305	435	131	118	65,0	135	123	116	53	22	31	55	22
P137	Жін	21	168	52	583	161	189	315	298	385	125	115	62,5	131	124	114	51	21	32	48	21
P055	Чол.	21	178	73	559	152	179	305	293	353	120	108	59,0	125	125	123	45	18	35	55	19
P141	Жін	21	161	54	585	162	187	316	308	408	125	114	62,0	130	125	122	50	20	33	55	21
P131	Жін	21	164	56	581	161	180	306	295	391	121	109	60,0	125	126	111	46	18	35	52	19
P172	Жін	21	164	59	595	165	189	305	303	410	126	115	62,5	131	126	125	51	21	32	51	21

Продовження таблиця А – антропометричні розміри

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>
P197	Жін	25	159	62	612	170	197	311	285	386	133	121	67,0	138	126	115	55	23	30	49	23
P201	Жін	27	162	54	622	171	199	315	315	411	135	123	68,0	141	126	120	56	24	29	45	23
P064	Чол.	21	179	76	562	153	179	305	296	372	120	108	59,0	125	129	117	45	18	35	55	19
P146	Жін	21	165	46	586	162	194	303	286	369	131	118	65,0	135	129	110	53	22	31	47	22
P165	Жін	22	160	60	592	164	191	322	323	356	128	116	63,5	133	131	105	52	21	32	55	22
P200	Жін	24	156	47	619	171	191	315	302	370	129	116	63,5	133	131	118	52	22	32	53	22



**Український випробувальний центр фільтруючих засобів
індивідуального захисту органів дихання**

Атестат про акредитацію № 2Т268
від 14.02.2020 до 13.02.2023

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуюча УВЦ ЗІЗОД


 Н.М. Абрамова
 _____ 2020 р.

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАННЯ

Інформаційні дані

Назва лабораторії і місце проведення випробування: Український випробувальний центр фільтруючих засобів індивідуального захисту органів дихання (УВЦ ЗІЗОД) 65005, м. Одеса, вул. Прохорівська, 21

Підстава: Технічне завдання на виконання держбюджетної теми №3.27.2 «Розробка універсальних засобів індивідуального захисту пролонгованої дії подвійного призначення» Номер Держреєстрації « 0117U000376»

Назва та адреса замовника: Відділ №2 ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України, 65005, м. Одеса, вул. Прохорівська, 21

Назва виробів «Фільтрувальна напівмаска від аерозолів подвійного призначення пролонгованої дії «ЛУР17» FMP2»

Виробник: Відділ №2 ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України, 65005, м. Одеса, вул. Прохорівська, 21

Місце відбору зразків: Відділ №2 ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України, 65005, м. Одеса, вул. Прохорівська, 21

Дата виготовлення виробів: 04.10.2020 р.

Дата відбору зразків: 04.10.2020 р.

Термін виконання випробувань: 04.10.2020 – 17.10.2020.

Мета випробувань: перевірка відповідності технічних характеристик зразків дослідної партії вимогам НТД.

Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування

УВЦ ЗІЗОД

Методи випробувань: ДСТУ EN 1827:2017 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Напівмаски без клапанів вдиху та з віддільними фільтрами для захисту від газів, або газів та аерозолів, або тільки від аерозолів. Вимоги, випробовування, маркування.

1 Об'єкт випробувань:

1.1 Фільтрувальні напівмаски від аерозолів подвійного призначення пролонгованої дії «ЛУР17» FMP2 у кількості 58 од.

2 Умови проведення випробування:

- 2.1 – температура повітря приміщення, °С: 20,0 – 22,0;
 – атмосферний тиск, кПа: 100,5 – 102,0;
 – вологість повітря приміщення, %: 61 – 65.

2.2 Для випробувань використано:

- Стенд для визначення коефіцієнта проникнення за тест-аерозолем парафінової оливи і повітряного опору засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) типу УВЦ-01-2011 ССПО, Атестат № 33-ФХ, чинний до 26.03.2019 р.;

- Стенд для визначення коефіцієнта проникнення по тест-аерозолію хлориду натрію і опору повітряному струму засобів індивідуального захисту органів дихання типу УВЦ-01-2011 ССNaCl, Атестат № 32-ФХ, чинний до 26.03.2019 р.;

- Фотоелектричний фотометр «ФАН-А-УХЛ.42» (зав. № 914146), Свідоцтво про повірку № 519-ФХ, чинне до 26.03.2019 р.;

- Мікромановакуумметр рідинний МКВ-250 (зав. № 5442), Свідоцтво про повірку № 1868-тд, чинне до 28.11.2018 р.;

- Лічильник аерозольних частинок Met One 237В (зав. №020800035), Свідоцтво про калібрування №UA/37/171009/0847, від 09.10.2017 р.;

- Ротаметр зі скляною ротаметричною трубкою і місцевими показами РМ-25 (зав. №0174), Свідоцтво про калібрування № К26-ТТ від 10 лютого 2017 р.;

- Стенд для визначення загального коефіцієнта підсосу за тест-аерозолем хлориду натрію (ЗІЗОД) типу УВЦ-02-2011 СNaCl, (зав. №03), Атестат №34-ФХ, чинний до 26.03.2019 р.;

- Установка для випробування механічної міцності засобів індивідуального захисту органів дихання, (зав. №15/18), Протокол №48-ГМ від 05.02.2018 р.

2.3 За вимогами окремих показників зразки проходять попередню підготовку, що при реєстрації результатів позначаються:

п.п. – у тому стані, у якому його доставили;

м.в. – механічний вплив;

п.н. – моделювання процесу носіння;

т.в. – температурний вплив.

4 Контрольовані показники та результати випробування за ДСТУ EN 1827:2017

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
-------------	------------------	-------------------------

Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування	УВЦ ЗІЗОД
--	-----------

5	КЛАСИФІКАЦІЯ Напівмаски класифікують відповідно до типів і класів використаних фільтрів.	Напівмаски промарковані за типом і класом «FMP2»
6	ПОЗНАЧЕННЯ ЗІЗОД, що відповідають вимогам цього стандарту потрібно позначати так: «Напівмаска без клапана вдиху / EN 1827 / FM (Тип) (Клас) (Додаткові характеристики)» Приклад. «Напівмаска без клапана вдиху / EN 1827 / FM E1 P2»	Напівмаски позначені відповідно до ДСТУ EN 1827:2017: «Фільтрувальна напівмаска від аерозолів»
7	ВИМОГИ	
7.1	Загальні положення Усі випробувальні зразки у кожному випробуванні повинні задовольняти встановлені вимоги.	
7.2	Номінальні значення та граничні відхили Значення, вказані в цьому стандарті є номінальні, якщо інше не визначено. За винятком температурних границь значення, які не вказують як максимум чи мінімум, мають граничні відхили $\pm 5\%$. Температура оточуючого середовища під час випробування повинна бути $(24 \pm 8)^\circ\text{C}$ і температурні границі потрібно визначати з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$, якщо інше не визначено у цьому стандарті.	Випробування зразків виконувалося за температурою повітря в лабораторії від плюс $20,0^\circ\text{C}$ до плюс $22,0^\circ\text{C}$.
7.3	Візуальний огляд Візуальним оглядом перевіряють наявність та зміст маркування й інформації, яку надає виробник. Випробування проводять відповідно до п.8.3.	Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд Всі зразки промарковані (див. п.9 даного Протоколу). Інформація виробника надана детально в Інструкції з експлуатації, що додається до зразка (див. р.10 Протоколу).

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
-------------	------------------	-------------------------

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	УВЦ ЗІЗОД
---	-----------

7.4	<p>Матеріали Використовувані матеріали повинні витримувати поведження і ношення протягом встановленого для напівмаски періоду експлуатації Після випробування відповідно до 8.2.4, 8.12 і 8.13 жоден пристрій не повинен мати механічних пошкоджень корпусу лицевої частини, ременів або фільтрувальних елементів.</p>	<p>Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд Після моделювання процесу носіння напівмаски на Шеффілдівському муляжі голови в умовах, наближених до реальних, слідів механічних пошкоджень напівмасок не виявлено. Вживані матеріали не вивільнюються і створюють небезпеку при використуванні.</p>
7.5	<p>Стійкість до займання Складові частини укомплектованої напівмаски, що можуть зазнавати дії полум'я під час використування, не повинні горіти або продовжувати горіти більше 5 с після вилучення із полум'я. Випробування проводять відповідно до 8.3 і 8.4. Після випробування займистості напівмаску в подальшому не використують.</p>	<p>Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд п.8.4 Здатність до займання Напівмаски одягнені послідовно на металевий муляж голови людини, при проходженні над пропановим полум'ям не зайнялися.</p>
7.6	<p>Чищення і дезинфекція Будь-яка частина пристрою, що призначена для багаторазового використування, повинна витримувати дію очищувальних і дезинфікувальних речовин та процедур, які рекомендовано виробником. Випробування проводять відповідно до 8.5.</p>	<p>Застосований метод випробування: п.8.5 Чищення і дезинфекція За своєю конструкцією та призначенням змінні фільтри напівмаски є одноразовими в і тому не підлягають процесам чищення та дезинфікування.</p>
7.7	<p>Фільтрувальний матеріал Будь-який матеріал фільтру або газоподібні продукти, що вивільнюються повітряним потоком, що проходить через фільтр, не повинні створювати небезпеку або незручності користувачеві. Випробування проводять відповідно до 8.3 і 8.13.</p>	<p>Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд п.8.13 Випробування експлуатаційних властивостей Матеріали протипилового фільтра не створюють небезпеку або незручності користувачеві при проходженні повітряного потоку через них.</p>

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
----------------	------------------	-------------------------

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	<p>УВЦ ЗІЗОД</p>
---	------------------

7.8	Закінчення складових частин Частини пристрою, що можуть вступати в контакт з користувачем, не повинні мати гострих країв або задирок. Випробування проводять відповідно до 8.3.	Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд Під час виконання випробувань гострих країв і задир на напівмасках не виявлено.
7.9	Знімні частини Всі знімні частини повинні легко приєднуватися та закріплюватися за можливості без допомоги інструментів. Випробування проводять відповідно до 8.3 і 8.13.	Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд п.8.13 Випробування експлуатаційних властивостей Знімні протиаерозольні фільтри напівмасок при заміні легко з'єднуються і закріплюються, без допомоги інструментів.
7.10 7.10.1 7.10.2	Головний гарнітур Головний гарнітур проектується так, щоб пристрій можна було легко надягати і знімати. Випробування проводять відповідно до 8.12 і 8.13. Головний гарнітур повинен регулюватися (саморегулюватися) та бути достатньо міцний, щоб утримувати напівмаску в положенні, у якому задовольняються вимоги до коефіцієнта підсосу. Випробування проводять відповідно до 8.12 і 8.13.	Застосований метод випробування: п.8.12 Коефіцієнт підсосу п.8.13 Випробування експлуатаційних властивостей Наголів'я суміщено з форфільтром і споряджено двома відрізками еластичної стрічки. Вони з'єднуються між собою за допомогою двох пар колечок, які забезпечують регулювання розміру наголів'я. Додаткова фіксація забезпечується за допомогою подовжених частин форфільтра, які огортають шию навколо і фіксуються за допомогою текстильної застібки.
7.12 7.12.1	Клапани видиху Клапан(и) видиху повинен(-ні) нормально функціонувати у будь-якій його орієнтації. Випробування проводять відповідно до 8.12.	Застосований метод випробування: п.8.12 Коефіцієнт підсосу Напівмаска споряджена одним клапаном видиху, який нормально функціонує в будь-якій його орієнтації.
7.12.2	Клапани видиху повинні бути захищені від потрапляння пилу і від механічних пошкоджень. Вони можуть закриватися кожухом або містити інші пристрої, що задовольняють 7.21. Випробування проводять відповідно до 8.3.	Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд За конструкцією клапан видиху включає сидловину та пелюсток клапану видиху, який захищено екраном від потрапляння пилу та механічних пошкоджень.

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
-------------	------------------	-------------------------

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	УВЦ ЗІЗОД
---	-----------

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
7.12.3	Клапан(и) видиху повинен(-ні) продовжувати нормально працювати після проходження через нього безперервного повітряного потоку 300л/хв. протягом 30с. Випробування проводять відповідно до 8.6.1.	Застосований метод випробування: п.8.6.1 Клапан видиху (випробування постійним потоком) Після проходження зазначеного потоку клапан продовжує функціонувати більше 30 с;
7.12.4	У випадку, коли корпус клапана видиху прикріплюють до корпусу маски, він повинен витримувати розтягувальне навантаження 10 Н протягом 10 с, що прикладене перпендикулярно до площини клапана. Випробування проводять відповідно до 8.6.2.	Застосований метод випробування: п.8.6.2 Клапан видиху (визначення міцності кріплення) Витримує навантагу більше 10 Н.
7.13	Пакування Пристрій та його змінні частини упаковують у торговельне пакування так, щоб забезпечити захист від механічного пошкодження і забруднення. Протигазові та комбіновані фільтри повинні мати герметичне фабричне пакування для захисту фільтрувального матеріалу від впливів зовнішнього середовища, виконане так, щоб можна було помітити його пошкодження.	Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд Комплект зразка дослідної партії включає: напівмаску протиаерозольні фільтри та Інструкцію з експлуатації, які герметично упаковані в пакет з поліетиленової плівки.
7.14	Маса Загальна маса фільтра(-ів), які використовують у пристроях, що задовольняють вимоги цього стандарту, не повинна перевищувати 300 г. Випробування проводять відповідно до 8.3.	Застосований метод випробування: п.8.3 Візуальний огляд Маса напівмаски FMP2, яка включає форфільтр з металевою притискною пластинкою, патрубок з пелюстком клапану видиху, захисний екран, протиаерозольний фільтр, г – 41,0 не перевищує 300 г.
7.16	Коефіцієнт проникності протиаерозольного фільтра Потрібно задовольняти вимоги до максимального коефіцієнта проникності тест-аерозоллю, як це визначено в EN 143 для кожного класу протиаерозольного фільтра.	Застосований метод випробування: п.8.8 Коефіцієнт проникності протиаерозольного фільтра
№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	УВЦ ЗІЗОД
---	-----------

<p>7.20 7.20.1 7.20.2 7.20.2.2</p>	<p>Опір диханню без запилення фільтра Загальні положення Опір диханню комплектних пристроїв з різними комбінаціями фільтрів повинен задовольняти вимоги, наведені у відповідних таблицях 5, 6 і 7.</p> <p>Опір диханню на вдиху Напівмаски з комбінованими фільтрами</p> <p>Випробування проводять відповідно до 8.11.</p> <p>Опір диханню (мбар) респіратора FMP2: – на вдиху з об'ємною витратою 30 дм³/хв, не більше 0,7</p> <p>– на вдиху з об'ємною витратою 95 дм³/хв, не більше 2,4</p> <p>– на видиху з об'ємною витратою 160 дм³/хв, не більше 3,0</p> <p>Опір диханню на видиху вимірюють (п.8.11) під час послідовного розміщування півмаски на Шеффілдівському муляжі голови в 5 напрямках: 1) прямо вперед; 2) вертикально вверху; 3) вертикально вниз; 4) лежачи на лівому боці; 5) лежачи на правому боці.</p>	<p>Застосований метод випробування: п.8.11 Опір диханню</p> <p>Зразки №22-30</p> <table border="0"> <tr> <td>22. п.п. – 0,45</td> <td>27. т.в. – 0,35</td> </tr> <tr> <td>23. п.п. – 0,32</td> <td>28. м.н. – 0,32</td> </tr> <tr> <td>24. п.п. – 0,34</td> <td>29. м.н. – 0,37</td> </tr> <tr> <td>25. т.в. – 0,33</td> <td>30. м.п. – 0,40</td> </tr> <tr> <td>26. т.в. – 0,38</td> <td></td> </tr> </table> <p>Середнє значення = 0,36</p> <p>Зразки №31-39</p> <table border="0"> <tr> <td>31. п.п. – 1,05</td> <td>36. т.в. – 0,98</td> </tr> <tr> <td>32. п.п. – 1,01</td> <td>37. м.н. – 0,88</td> </tr> <tr> <td>33. п.п. – 1,04</td> <td>38. м.н. – 1,07</td> </tr> <tr> <td>34. т.в. – 0,98</td> <td>39. м.н. – 1,01</td> </tr> <tr> <td>35. т.в. – 0,76</td> <td></td> </tr> </table> <p>Середнє значення = 0,98</p> <table border="1" data-bbox="895 1227 1485 1518"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою</th> <th colspan="3">Вид впливу – п.п. Номер зразка</th> </tr> <tr> <th>40</th> <th>41</th> <th>42</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>прямо вперед</td> <td>1,51</td> <td>1,47</td> <td>1,57</td> </tr> <tr> <td>вертикально вверху</td> <td>1,49</td> <td>1,43</td> <td>1,46</td> </tr> <tr> <td>вертикально вниз</td> <td>1,46</td> <td>1,36</td> <td>1,42</td> </tr> <tr> <td>лежачи на лівому боці</td> <td>1,50</td> <td>1,45</td> <td>1,54</td> </tr> <tr> <td>лежачи на правому боці</td> <td>1,41</td> <td>1,42</td> <td>1,39</td> </tr> <tr> <td>Середнє значення</td> <td>1,47</td> <td>1,43</td> <td>1,48</td> </tr> </tbody> </table>	22. п.п. – 0,45	27. т.в. – 0,35	23. п.п. – 0,32	28. м.н. – 0,32	24. п.п. – 0,34	29. м.н. – 0,37	25. т.в. – 0,33	30. м.п. – 0,40	26. т.в. – 0,38		31. п.п. – 1,05	36. т.в. – 0,98	32. п.п. – 1,01	37. м.н. – 0,88	33. п.п. – 1,04	38. м.н. – 1,07	34. т.в. – 0,98	39. м.н. – 1,01	35. т.в. – 0,76		Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою	Вид впливу – п.п. Номер зразка			40	41	42	прямо вперед	1,51	1,47	1,57	вертикально вверху	1,49	1,43	1,46	вертикально вниз	1,46	1,36	1,42	лежачи на лівому боці	1,50	1,45	1,54	лежачи на правому боці	1,41	1,42	1,39	Середнє значення	1,47	1,43	1,48
22. п.п. – 0,45	27. т.в. – 0,35																																																				
23. п.п. – 0,32	28. м.н. – 0,32																																																				
24. п.п. – 0,34	29. м.н. – 0,37																																																				
25. т.в. – 0,33	30. м.п. – 0,40																																																				
26. т.в. – 0,38																																																					
31. п.п. – 1,05	36. т.в. – 0,98																																																				
32. п.п. – 1,01	37. м.н. – 0,88																																																				
33. п.п. – 1,04	38. м.н. – 1,07																																																				
34. т.в. – 0,98	39. м.н. – 1,01																																																				
35. т.в. – 0,76																																																					
Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою	Вид впливу – п.п. Номер зразка																																																				
	40	41	42																																																		
прямо вперед	1,51	1,47	1,57																																																		
вертикально вверху	1,49	1,43	1,46																																																		
вертикально вниз	1,46	1,36	1,42																																																		
лежачи на лівому боці	1,50	1,45	1,54																																																		
лежачи на правому боці	1,41	1,42	1,39																																																		
Середнє значення	1,47	1,43	1,48																																																		

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
----------------	------------------	-------------------------

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	<p>УВЦ ЗІЗОД</p>
---	------------------

		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою</th> <th colspan="3">Вид впливу – т.в.</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Номер зразка</th> </tr> <tr> <td></td> <th>43</th> <th>44</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>прямо вперед</td> <td>1,57</td> <td>1,51</td> <td>1,51</td> </tr> <tr> <td>вертикально вверху</td> <td>1,50</td> <td>1,55</td> <td>1,60</td> </tr> <tr> <td>вертикально вниз</td> <td>1,61</td> <td>1,47</td> <td>1,48</td> </tr> <tr> <td>лежачи на лівому боці</td> <td>1,45</td> <td>1,52</td> <td>1,53</td> </tr> <tr> <td>лежачи на правому боці</td> <td>1,42</td> <td>1,54</td> <td>1,54</td> </tr> <tr> <td>Середнє значення</td> <td>1,51</td> <td>1,52</td> <td>1,53</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою</th> <th colspan="3">Вид впливу – п.н.</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Номер зразка</th> </tr> <tr> <td></td> <th>46</th> <th>47</th> <th>48</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>прямо вперед</td> <td>1,61</td> <td>1,61</td> <td>1,59</td> </tr> <tr> <td>вертикально вверху</td> <td>1,70</td> <td>1,66</td> <td>1,61</td> </tr> <tr> <td>вертикально вниз</td> <td>1,55</td> <td>1,58</td> <td>1,57</td> </tr> <tr> <td>лежачи на лівому боці</td> <td>1,63</td> <td>1,57</td> <td>1,56</td> </tr> <tr> <td>лежачи на правому боці</td> <td>1,58</td> <td>1,59</td> <td>1,53</td> </tr> <tr> <td>Середнє значення</td> <td>1,61</td> <td>1,60</td> <td>1,57</td> </tr> </tbody> </table>	Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою	Вид впливу – т.в.			Номер зразка				43	44	45	прямо вперед	1,57	1,51	1,51	вертикально вверху	1,50	1,55	1,60	вертикально вниз	1,61	1,47	1,48	лежачи на лівому боці	1,45	1,52	1,53	лежачи на правому боці	1,42	1,54	1,54	Середнє значення	1,51	1,52	1,53	Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою	Вид впливу – п.н.			Номер зразка				46	47	48	прямо вперед	1,61	1,61	1,59	вертикально вверху	1,70	1,66	1,61	вертикально вниз	1,55	1,58	1,57	лежачи на лівому боці	1,63	1,57	1,56	лежачи на правому боці	1,58	1,59	1,53	Середнє значення	1,61	1,60	1,57
Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою	Вид впливу – т.в.																																																																							
	Номер зразка																																																																							
	43	44	45																																																																					
прямо вперед	1,57	1,51	1,51																																																																					
вертикально вверху	1,50	1,55	1,60																																																																					
вертикально вниз	1,61	1,47	1,48																																																																					
лежачи на лівому боці	1,45	1,52	1,53																																																																					
лежачи на правому боці	1,42	1,54	1,54																																																																					
Середнє значення	1,51	1,52	1,53																																																																					
Положення Шеффілдівського муляжа голови з напівмаскою	Вид впливу – п.н.																																																																							
	Номер зразка																																																																							
	46	47	48																																																																					
прямо вперед	1,61	1,61	1,59																																																																					
вертикально вверху	1,70	1,66	1,61																																																																					
вертикально вниз	1,55	1,58	1,57																																																																					
лежачи на лівому боці	1,63	1,57	1,56																																																																					
лежачи на правому боці	1,58	1,59	1,53																																																																					
Середнє значення	1,61	1,60	1,57																																																																					
7.21	<p>Коефіцієнт підсосу повітря Значення коефіцієнта підсосу повітря, що охоплює підсос через клапан (за наявності) і з'єднувальний вузол фільтра, повинні задовольняти такі вимоги:</p> <p>Для напівмасок, одягнутих згідно з інформацією, яку надає виробник, не менше ніж для 46 з 50 окремих результатів кожної вправи, як це визначено в 8.12.7 (10 випробувачів × 5 періодів вправ), значення коефіцієнта підсосу не повинні перевищувати 5%. У цьому випадку, не менше ніж для 8-ми з 10 окремих випробувачів середні арифметичні значення коефіцієнта підсосу не повинні перевищувати 2%. Випробування проводять відповідно до 8.12.</p>	<p>Застосований метод випробування: п.8.12 Коефіцієнт підсосу Результати надано у Додатку А</p>																																																																						

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
----------------	------------------	-------------------------

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	УВЦ ЗІЗОД
---	-----------

7.22	<p>Поле зору Площу поля зору вважають прийнятною, якщо це підтверджують результати випробування експлуатаційних властивостей. Випробування проводять відповідно до 8.13.</p>	<p>Застосований метод випробування: п.8.13 Випробування експлуатаційних властивостей При моделюванні процесу роботи в умовах, наближених до реальних, обмежень поля зору не виявлено.</p>												
7.23	<p>Випробування експлуатаційних властивостей Пристрій підлягає випробуванню експлуатаційних властивостей за умов, наближених до реальних. Метою цього випробування є перевіряння пристрою на недоліки, що не можуть бути визначені будь-яким іншим випробуванням за цим стандартом. Там, де експлуатаційні випробування виявлять недоліки, що відносяться до сприйняття користувача, випробувальна лабораторія повинна забезпечити всі деталі проведення тієї частини експлуатаційних випробувань, у якій виявлено ці недоліки. Це дасть змогу іншим випробувальним лабораторіям продублювати випробування і оцінити отримані результати. Випробування проводять відповідно до 8.13.</p>	<p>Застосований метод випробування: п.8.13 Випробування експлуатаційних властивостей Умови проведення експлуатаційних випробувань: - температура, °С - 20-22; - вологість, % - 61-65; - атмосферний тиск, кПа – 100,5-102. При проведенні випробувань напівмаски у належному робочому стані двома випробувачами зареєстрована наступна інформація:</p> <table border="1" data-bbox="906 958 1501 1361"> <thead> <tr> <th>Інформація, яку надає випробувач</th> <th>Випробувач 1</th> <th>Випробувач 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Зручність наголів'я</td> <td>Наголів'я забезпечує надійну фіксацію напівмаски при користуванні</td> <td>Наголів'я забезпечує надійну фіксацію напівмаски при користуванні</td> </tr> <tr> <td>Надійність кріплень</td> <td>Розмір наголів'я регулюються легко і надійно</td> <td>Розмір наголів'я регулюються легко і надійно</td> </tr> <tr> <td>Площа поля зору</td> <td>Не зменшує</td> <td>Не зменшує</td> </tr> </tbody> </table> <p>При ходьбі з надягнутою напівмаскою з постійною швидкістю 6 км/год протягом 10 хв. зміни положення напівмаски на обличчі не виявлено. При ходьбі протягом 5 хв. по горизонтальній площині у приміщенні з габаритною висотою (1,3±0,2) м зміни положення напівмаски на обличчі не виявлено.</p>	Інформація, яку надає випробувач	Випробувач 1	Випробувач 2	Зручність наголів'я	Наголів'я забезпечує надійну фіксацію напівмаски при користуванні	Наголів'я забезпечує надійну фіксацію напівмаски при користуванні	Надійність кріплень	Розмір наголів'я регулюються легко і надійно	Розмір наголів'я регулюються легко і надійно	Площа поля зору	Не зменшує	Не зменшує
Інформація, яку надає випробувач	Випробувач 1	Випробувач 2												
Зручність наголів'я	Наголів'я забезпечує надійну фіксацію напівмаски при користуванні	Наголів'я забезпечує надійну фіксацію напівмаски при користуванні												
Надійність кріплень	Розмір наголів'я регулюються легко і надійно	Розмір наголів'я регулюються легко і надійно												
Площа поля зору	Не зменшує	Не зменшує												

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
-------------	------------------	-------------------------

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	УВЦ ЗІЗОД
---	-----------

		<p>При плазуванні протягом 5 хв. по горизонтальній площині з габаритною висотою $(0,7\pm 0,05)$ м незручності не були зафіксовані, а зміни положення напівмаски на обличчі не виявлено</p> <p>При виконанні вправ (п 8.13.3 с) напівмаска не змінює свого положення на обличчі і не викликає незручності.</p>
9	Маркування	
9.1	Пакування Для упакованих напівмасок і фільтрів повинна чітко ідентифікуватися така інформація	
9.1.1	Назва, торговельний знак або інші засоби ідентифікації виробника або постачальника.	<p>Нанесено: «Фільтрувальна напівмаска від аерозолів», «ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України»</p> <p>Нанесено: «FM P»</p>
9.1.2	Маркування ідентифікації типу	Нанесено: FM P2
9.1.3	Тип і клас (див. розділ 5)	Нанесено: ДСТУ EN 1827:2017
9.1.4	Номер цього стандарту	Нанесено: 05.2020
9.1.5	Рік виготовлення і строк придатності або дату закінчення строку придатності (у випадках, коли на експлуатаційні властивості продукції може вплинути старіння) або інший еквівалент	
9.1.6	Речення «Дивись інформацію, яку надає виробник».	Інформація, яку надає виробник, надана українською мовою в Інструкції з експлуатації (Додаток Б) і має піктограму за рисунком 12b
9.2	Напівмаска Напівмаска повинна містити розбірливе і стійке маркування з такою інформацією:	
9.2.1	Назва, торговельний знак або інші засоби ідентифікації виробника або постачальника	<p>Нанесено: «Фільтрувальна напівмаска від аерозолів», «ФХІЗНСІЛ МОН і НАН України»</p> <p>Нанесено: «FM P»</p>
9.2.2	Маркування для ідентифікації типу	Нанесено: ДСТУ EN 1827:2017
9.2.3	Номер цього стандарту	
№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	УВЦ ЗІЗОД
---	-----------

9.2.4	Складові частини, які може замінювати користувач, і деталі, які впливають на безпеку використання, повинні легко ідентифікуватися. Для частин, які з певних причин не можуть бути ідентифіковані, відповідну інформацію долучають до інформації, яку надає виробник (див. додаток А)	При використанні напівмаски виконується заміна протиаерозольного фільтра P2 Фільтри мають відповідне маркування
9.2.5	Рік виготовлення і строк придатності або дата закінчення строку придатності (у випадках, коли на експлуатаційні властивості продукції може вплинути старіння) або інший еквівалент.	Нанесено: 05.2020
9.3	Фільтри	
9.3.1	Фільтри без корпусу	Противаерозольний фільтр має розбірливе і стійке маркування з такою інформацією:
9.3.1.1	Маркування для ідентифікації типу	Нанесено: «FM P»
9.3.1.2	Тип і клас (див. розділ 5)	Нанесено: FM P2
9.3.1.3	Відповідний захист від аерозолів, що забезпечують фільтри типу FM P1, FM P2 і FM P3 згідно з EN 143.	Відповідний захист від аерозолів, що забезпечують фільтри типу P2 згідно з EN 143, %, не більш – 6,0
10	Інформація, яку надає виробник	
10.1	Будь-яке-найменше фабричне пакування лицевої частини і фільтрів повинно бути споряджене інформацією, яку надає виробник.	Найменша торгова упаковка містить одну напівмаску, 9 змінних протиаерозольних фільтрів та Інструкцію з експлуатації, що несе повну інформацію від виробника.
10.2	Інформацію, яку надає виробник повинна бути складена офіційною мовою країни, в яку продукцію постачають.	Країна постачання – Україна, тому інформація надана українською мовою.
10.3	В інформації, яку надає виробник, повинна міститись уся необхідна для навченого і кваліфікованого персоналу інформація такого змісту: - застосування/обмеження;	Інформація, яку надає виробник, викладена в Інструкції з експлуатації (Додаток Б) і містить: - напівмаска призначена для захисту від аеродисперсних часток різного походження (пил, дим, туман) при вмісті кисню, %, не менш – 17.

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
-------------	------------------	-------------------------

Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування	УВЦ ЗІЗОД
---	-----------

	<ul style="list-style-type: none"> - тривалість служби фільтра; - інформація щодо чищення і дезинфекції; - методи контролювання перед використанням; - спосіб надягання та припасування розміру; - правила використання; - правила обслуговування; - умови зберігання; 	<ul style="list-style-type: none"> - тривалість служби фільтра визначається для протиаерозольного фільтра FMP2 появою підвищеного опору на вдиху; - напівмаска є виробом одноразового використання і не підлягає чищенню та дезинфекції; - візуальне обстеження перед використанням; перевірка відповідності напівмаски росту обличчя; - напівмаску надягають починаючи з припасування корпусу до обличчя і фіксують його у комфортному для користувача положенні, регулюючи натягом еластичних стрічок наголів'я таким чином, щоб не відчувався зайвий тиск на голову та обличчя; - при використанні потрібно ретельно стежити за щільним приляганням напівмаски до обличчя по смузі обтюратору; - заміна протиаерозольного фільтра виконується наступним чином: необхідно відгвинтити гайку, вийняти вузол клапана видиху, зняти використаний протиаерозольний фільтр, замінити новим та загвинтити гайку. - температура, 0 °C — плюс 5 - плюс 40, вологість, %, не більше – 80
10.4	Інформація, яку надає виробник, повинна бути точна та повинна унеможливити різночитання. У разі потреби у ній можуть бути ілюстрації, нумерація деталей, маркування.	Інформація виробника викладена в Інструкції чітко і точно і унеможливає різночитання.
10.5	У разі потреби, в інформації, яку надає виробник, можуть бути застереги про можливість виникнення непередбачених ускладнень наприклад: - розмір напівмаски (методи контролювання перед використанням);	- конструкція напівмаски забезпечує припасування його до обличчя будь-якого розміру;

№ п.п. ДСТУ	Вимоги показника	Результати випробування
-------------	------------------	-------------------------

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	УВЦ ЗІЗОД
---	-----------

10.5	<p>- малоімовірно, що коефіцієнт підсосу буде задовольняти відповідні вимоги у разі потрапляння поросту обличчя на смугу обтюрації лицевої частини;</p> <p>- якість повітря (забруднювачі та нестача кисню);</p> <p>- використання обладнання у потенційно вибухонебезпечній атмосфері</p>	<p>- для запобігання підсосу шкідливого повітря до підмаскового простору під час роботи користувач повинен пильно стежити за щільним приляганням напівмаски до обличчя по смугі обтюрації;</p> <p>- напівмаска використовується при вмісті кисню у повітрі робочої зони не менше ніж 17% об.;</p> <p>- відповідно до викладених Інструкцій з експлуатації засторог використання напівмаски у потенційно вибухонебезпечній атмосфері заборонено.</p>
10.6	Інформація повинна вказувати умови вилучення пристроїв або фільтра з експлуатації	Тривалість експлуатації напівмаски залежить від ступеня забруднення робочої зони, вологості повітря і складності (тяжкості) виконуваних робіт. Якщо при дотриманні користувачем умов і правил експлуатації з'явилося відчуття збільшення опору диханню, він повинен покинути забруднену зону і відпрацьований фільтр замінити новим.

- Примітка:**
- 1 Зразки напівмасок, що пройшли випробування, не підлягають використанню за призначенням.**
 - 2 Результати випробування розповсюджуються тільки на зразки напівмасок, що пройшли випробування.**

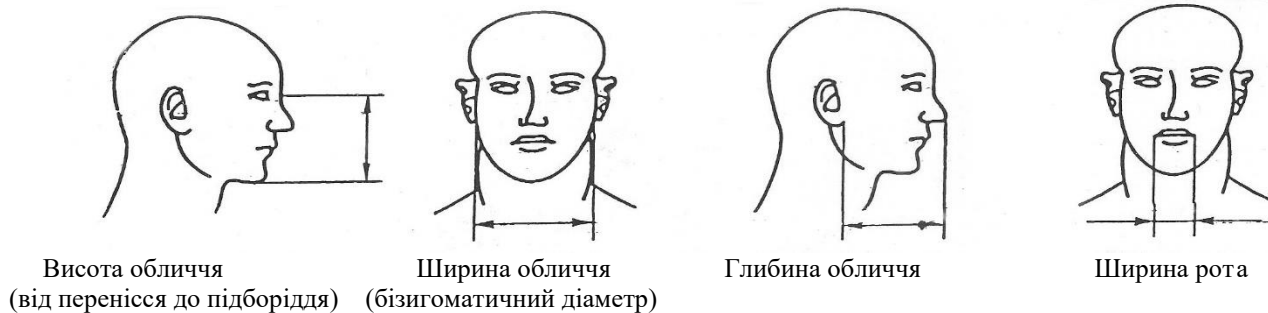
Інженер з технагляду за ВУ та ЕОТ

_____ Рогалевич О.А.

ДОДАТОК А

Розміри обличчя випробувачів для визначення коефіцієнта підсосу аерозолу у підмасковий простір

<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	<p>УВЦ ЗІЗОД</p>
---	------------------



Номер зразка на випробувачі	Розміри обличчя (мм)			Ширина рота
	Висота	Ширина	Глибина	
9	105	138	120	53
10	110	140	110	55
11	108	140	109	50
12	104	136	108	51
13	110	133	107	52
14	109	138	110	51
15	114	134	112	53
16	102	139	117	50
17	107	135	114	52
18	106	140	115	54

Коефіцієнт підсосу (%) аерозолію фільтрувальної напівмаски від аерозолів» FMP2» на випробувачах (10 чол.) при виконанні вправ на тредбані в камері з аерозолем хлориду натрію

Номер зразка на випробувачі	Вид впливу	Назва вправи випробувачів при носінні респіратора					Середньо-арифметичне значення коефіцієнта підсосу
		Ходіння без поворотів голови та без розмови	Повороти голови зі сторони в сторону (15 разів)	Рухи голови вгору та вниз (15 разів)	Читання тексту вголос	Ходіння без виконання вправ	
49-п.п.	п.п.	1,75	1,65	1,45	1,78	1,52	1,63
50-п.п.	п.п.	1,61	1,61	1,61	1,74	1,54	1,62
51-п.п.	п.п.	1,60	1,55	1,59	1,79	1,52	1,61
52-п.п.	п.п.	1,51	1,67	1,48	1,66	1,61	1,59
53-п.п.	п.п.	1,44	1,59	1,44	1,71	1,60	1,56
		Сер.=1,58	Сер.=1,61	Сер.=1,51	Сер.=1,74	Сер.=1,56	
54-т.в.	т.в.	1,80	1,81	1,90	1,95	1,85	1,86
55-т.в.	т.в.	1,67	1,88	1,84	1,91	1,77	1,81
56-т.в.	т.в.	1,70	1,84	1,91	1,89	1,78	1,82
57-т.в.	т.в.	1,71	1,80	1,90	1,90	1,77	1,82
58-т.в.	т.в.	1,75	1,79	1,85	1,82	1,85	1,81
		Сер.=1,73	Сер.=1,82	Сер.=1,88	Сер.=1,89	Сер.=1,80	Сер.=1,71

ІНСТРУКЦІЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ
Напівмаска фільтрувальна /EN 1827/FMP2
ТУ У 28.2-01530125-049:2018



<p>Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування</p>	<p>УВЦ ЗІЗОД</p>
---	------------------



Фільтрувальна напівмаска призначена для індивідуального захисту органів дихання від діючих інгаляційно часток різного походження (пил, дим, туман).

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ використання напівмаски:

- при вмісті вільного кисню в повітрі робочої зони менше 17% об'ємних;
- при невідомій природі і концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- в замкнутих невентильованих приміщеннях, цистернах, бункерах, колодязях, печах, котлах;
- у потенційно вибухонебезпечній атмосфері;
- декількома користувачами;
- з ушкодженою конструкцією.

Застосування напівмаски та дотримання інструкції з її експлуатації зменшує ризик виникнення хронічних захворювань.

Напівмаска складається зі змінного протиаерозольного фільтра - **1**, вузла клапана видиху - **2**, розпірки - **3**, притискної металевої пластинки - **4**, форфільтра з подовженими боковими частинами, які забезпечують додаткове кріплення півмаски, суміщеного з наголів'ям - **5**.

Вузол клапана видиху включає патрубок, на сидловині якого розташовано пелюсток клапана видиху, який від механічних ушкоджень захищено екраном, припасованим до патрубку ззовні. Форфільтр споряджено наголів'ям з двома відрізками еластичної стрічки, які з'єднують їх між собою за допомогою двох пар колечок, і забезпечують регулювання розміру наголів'я. Додаткова фіксація виконується за допомогою подовжених частин форфільтра, які огортають шию навколо і фіксуються за допомогою текстильної застібки.

Перед надяганням напівмаски необхідно провести оглядове перевірення її цілісності, відповідності маркування типу і класу захисту, строку придатності (за піктограмою). Під час роботи пильно стежити за щільним приляганням до обличчя по смузі обтюраторії.

Напівмаску надягають починаючи з припасування до обличчя і фіксують її у комфортному для користувача положенні, регулюючи його натягом еластичних стрічок наголів'я таким чином, щоб не відчувався зайвий тиск на голову та обличчя. Додаткова фіксація забезпечується за допомогою подовжених частин форфільтра, які огортають шию навколо і фіксуються текстильною застібкою. Герметизація в області перенісся виконується притисканням гнучкої металевої пластинки.

УВАГА! Під час роботи пильно стежити за щільним приляганням напівмаски до обличчя.

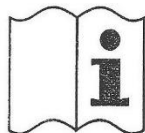
Тривалість експлуатації напівмаски залежить від ступеня забруднення робочої зони, вологості повітря і складності (тяжкості) виконуваних робіт. Якщо при дотриманні користувачем умов і правил експлуатації з'явилося відчуття збільшення опору диханню або користувач відчув неприємний запах, він повинен покинути забруднену зону і відпрацьований фільтр замінити новим.

Для заміни протиаерозольного фільтра необхідно: відгвинтити гайку, вийняти вузол клапана видиху, зняти використаний фільтр, встановити новий та загвинтити гайку.

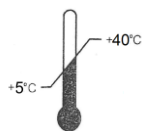
Температура і вологість повітря зберігання, закінчення строку придатності напівмаски позначені піктограмами.

Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування

УВЦ ЗІЗОД



Дивись інформацію,
яку надає виробник, в
інструкції з експлуатації



Діапазон температур для
зберігання



Максимальна вологість
повітря для зберігання



Рік/місяць
закінчення строку
придатності

УВАГА! Обережати напівмаску від механічних ушкоджень, вологи, органічних розчинників, кислот, лугів і масел.

**Виробник: ФІЗИКО-ХІМІЧНИЙ ІНСТИТУТ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА І ЛЮДИНИ МОН УКРАЇНИ ТА НАН УКРАЇНИ**

м. Одеса, 65082, вул. Преображенська, 3, Тел/факс: (048) 732-29-95; 732-23-29,

e-mail: antaresnew@ukr.net

Протокол випробувань достовірний лише в повному обсязі. Використання окремих положень та висновків поза контекстом всього протоколу не допустиме. Копіювання без письмового дозволу УВЦ ЗІЗОД не дозволяється. Результати випробувань розповсюджуються тільки на зразки, що пройшли випробування

УВЦ ЗІЗОД