

Сучасні тенденції і теоретичні можливості щодо розробки конструкцій респіраторів із заданими захисними та експлуатаційними властивостями

Створення сучасних респіраторів – складне завдання. Його вирішення можливе завдяки використанню новітніх фільтруючих, сорбційно - фільтруючих матеріалів та каталізаторів, а також розробці конструкцій корпусу лицевої частини півмаски, головного гарнітура та клапанної системи, які забезпечать високі ізолювальні властивості за умови відповідності антропометрії обличчя користувачів формі корпусу лицевої частини півмаски, урахування якої при конструюванні є доволі складним процесом.

Відповідність респіраторів вимогам нормативної документації (НД) залежить від їх захисних та експлуатаційних характеристик. Найбільш важливими є наступні [11]:

- технічні характеристики фільтрів, які визначаються функціональним призначенням засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД): коефіцієнт проникання, пиломісткість;

- ергономічні показники вузлів клапанних систем вдиху-видиху, смуги обтюрації, елементів кріплення корпусу лицевої частини: опір вдиху та видиху, вміст діоксиду вуглецю у вдихуваному повітрі, відповідність лицевої частини антропометричним розмірам обличчя, поля зору, розбірливість мови;

- показники надійності (можливість збереження властивостей протягом задекларованого терміну використання): час захисної дії.

Досягнення заданих значень технічних характеристик можливе тільки при використанні відповідних основних та допоміжних матеріалів за умови їх переробки у виробі відповідно до розроблених технологічних прийомів з подальшим контролем отриманих технічних характеристик в процесі лабораторних випробувань та виконанням коригувальних дій за необхідності.

Фільтрувальні ЗІЗОД відповідно до свого функціонального призначення повинні забезпечувати очищення вдихуваного повітря від шкідливих речовин до концентрації, яка не перевищує гранично допустиму. Принцип захисту у них базується на обов'язковій ізоляції органів дихання від навколишнього

середовища та використанні матеріалів відповідного функціонального призначення [12, 13]. В таблиці 2.6 наведено дані стосовно підбирання конструктивних елементів ЗІЗОД, основних та допоміжних матеріалів [14-18].

Таблиця 2.6 – Основні технічні завдання, які потрібно вирішити при розробці конструкцій ЗІЗОД

Визначення шкідливих факторів	- аеродисперсні частини різного походження (пил, дим, туман), токсичні гази і пари
Способи захисту від потрапляння шкідливих факторів	- ізоляція підмаскового простору; - фільтрація, у тому числі по смузі обтюрації; - герметичність за рахунок щільного прилягання пелюсток клапанів видиху і вдиху до сідловини
Розробка конструктивних елементів	- обтюратори різних конструкцій; - фільтруючі елементи; - вузли клапанів вдиху і видиху; - елементи фіксації
Підбирання матеріалів відповідного функціонального призначення	- повітронепроникні матеріали (гума, силікон, поліетилен, та ін.); - фільтруючі матеріали (імпрегновані волокнисті хемосорбенти з індикацією «спрацьовування» поглинальної ємності, вуглецеві волокнисті матеріали, каталізатори низькотемпературного окиснення, фільтрувальні матеріали); - допоміжні матеріали
Контрольні показники	- коефіцієнт підсосу через смугу обтюрації, через клапани вдиху і видиху; - коефіцієнт проникання через фільтруючий матеріал; - час захисної дії

Сучасний процес проектування респіраторів охоплює декілька кроків (рисунок 2.20) [28]. Перший крок пов'язаний з визначенням розмірів облич, які характерні для працівників відповідного регіону. У роботах Chen, W., Zhuang, Z., Benson, S., Du, L., Yu, D., Landsittel, D., Wang, L., Viscusi, D., Shaffer, A. наведені дослідження з визначення найбільш впливового параметру, а саме розміру обличчя для проектування півмасок.



Рисунок 2.20 –Блок-схема САПР та виготовлення фільтрувальних півмасок

Зазвичай вимірювання проводять 3D-скануванням з відповідною обробкою для визначення реальних розмірів (наприклад, можна скористатись методом «Active Shape Models» або методом об'єднаних моделей), а для визначення взаємозв'язку між нормаллю l і площиною π необхідно задати параметри камери сканера і проектора їх розміщення (рисунок 2.21) з матричного рівняння:

$$[0,1 - d(i)] \times Pp [x, y, z]^T = 0, \quad (2.38)$$

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

Відскановані зображення голови перетворюють за допомогою методу триангуляції у геометричну поверхню з визначенням 3D-координат ключових точок скануємої поверхні, які уточнюємо, застосувавши параметричну таблицю 2.4.

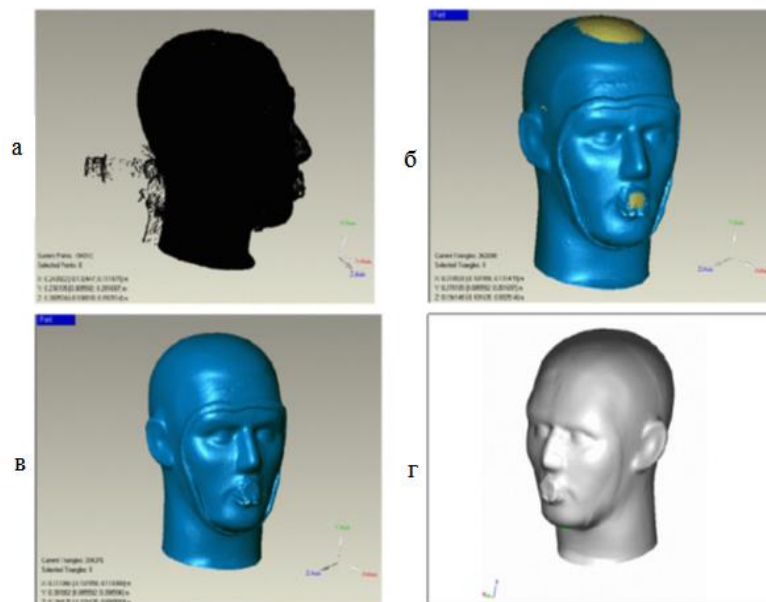


Рисунок 2.21 – Перетворення відсканованого зображення обличчя у 3D-модель голови у пакеті програми Geomagic за три кроки: набір точкової хмари (а); перетворення в трикутники (б) згладжування поверхні (в) готова модель (г)

Другий крок – це індивідуальний дизайн півмаски, який включає в себе нанесення критичних точок на 3D-модель голови відповідно до вимірних раніше розмірів. На рисунках 2.22 і 2.23 наведено процес отримання геометрії півмаски за попередньо визначеними координатами точок. Здебільшого розглядаються два варіанти можливого дизайну контуру обтюратора півмаски. У першому враховують ширину обличчя, ширину носа та відстань від перенісся до підборіддя. У другому, крім зазначених точок, додатково враховують і ширину обличчя за нижніми щелепами. На підставі отриманих даних та осереднених результатів замірів будують контур смуги обтюраторії на обличчі, який потім роздруковують на 3D-принтері.

Існує більш складний механізм побудови корпусу півмаски. Особливість його полягає у використанні NURBS – поверхонь, які визначаються спочатку хмарою точок, яку перетворюють у чисельну кількість трикутників [25–27]. Потім отримана поверхня може бути декілька разів перетворена в різні моделі: Polygon, CAD-модель, FE-модель, в яких більш детально відпрацьовується кожний елемент конструкції для одержання максимальної точності зображення і відповідності розмірам обличчя.

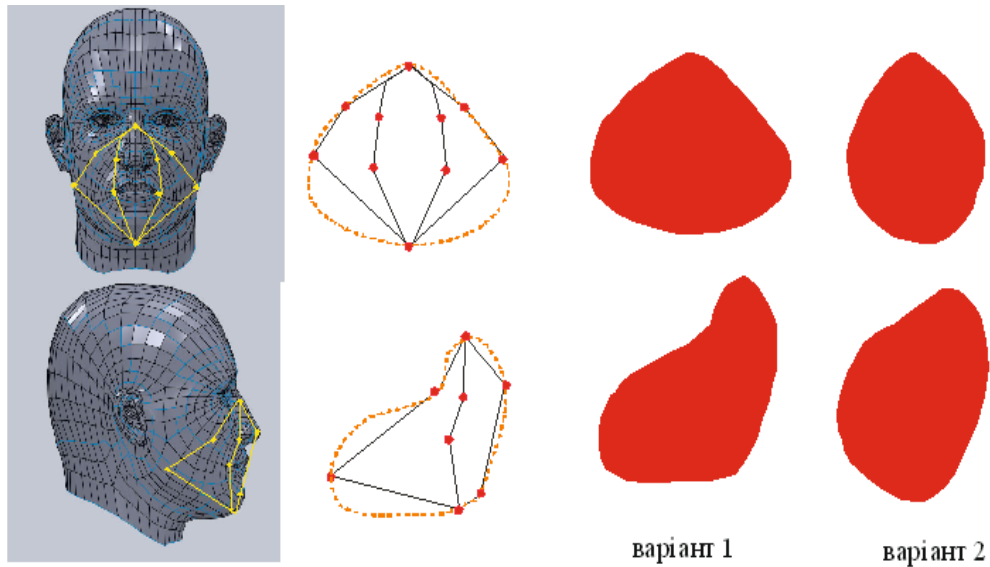


Рисунок 2.22 – Схеми контурів смуги обтюрції

Подальші дії полягають у поєднанні півмаски з 3D-моделлю голови для визначення площі контакту по смугі обтюрції. Контактна область між головою і півмаскою являє собою нерівномірне кільце, обмежене внутрішньою і зовнішньою граничними кривими (рисунок 2.24). Поверхня області контакту вважається симетричною, оскільки обидві сторони голови та півмаски є симетричними. Деякі контактні ділянки підганяють вручну, оскільки існує неточність у оформленні тримірному зображенні півмаски.

Найбільш проблемним місцем є область перенісся, яка є опуклою. У зображенні півмасок ця зона не зовсім співпадає з реальними розмірами.

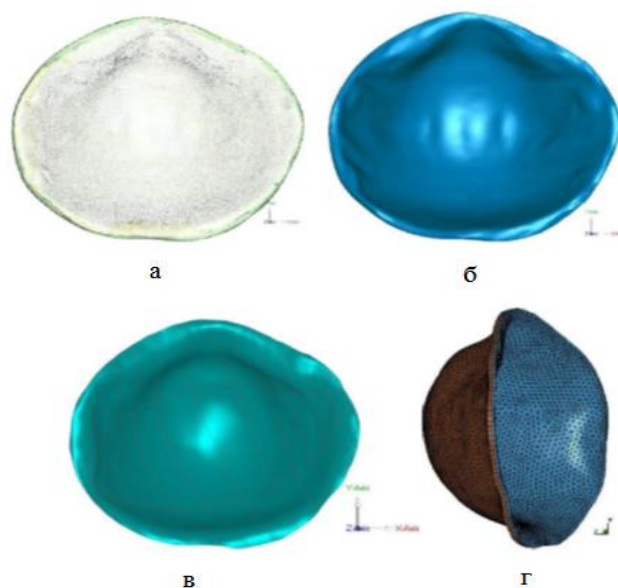


Рисунок 2.23– Етапи побудови моделі півмаски: точкова хмара (а); модель NURBS (б); модель CAD (в) і модель FE (г)

На практиці для виключення цього недоліку кожна півмаска споряджена притискною пластиною, за допомогою якої можна покращити герметичність в області перенісся. Тому вважається, що дані маніпуляції не вносять значну похибку у представлених вимірюваннях площі контакту.

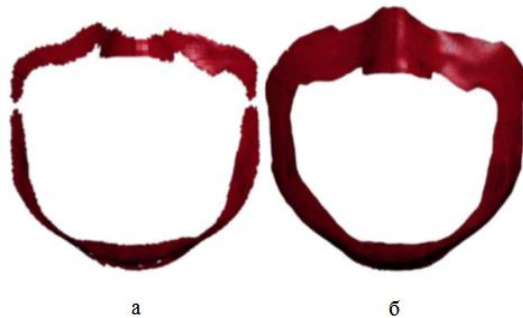


Рисунок 2.24 – Контактна область півмаски і обличчя: початкова (а), після обробки (б).

Отримана 3D-модель півмаски дозволяє проводити різні дослідження з визначення механічних та аеродинамічних характеристик респіратору з метою мінімізації важливої характеристики – опору диханню, рівномірного розподілу притискних зусиль по смузі обтюраторії та підвищення захисних властивостей. Для цього використовують різні програмні середовища. Наприклад, у програмі ANSYS можна зробити моделювання руху повітря, проаналізувати результати впливу на півмаску температури, притискних зусиль та механічного впливу. Однак їх використання потребує вхідних параметрів, які часто встановлюються експериментально вже на готових виробках.

Наступний етап – вибір відповідного матеріалу для виготовлення фільтра респіратору та обтюратора. В основному фільтруюча поверхня одноразових півмасок виготовляється з кількох шарів спеціальних матеріалів (рисунки 2.25). Перший (зовнішній каркасний) виконує функції захисту фільтрувального матеріалу від механічного пошкодження, забезпечує стійкість респіратору до деформації. Його виготовляють зі спеціальних жорстких матеріалів, які забезпечують збереження форми корпусу півмаски при використанні. Наступний шар – це

попередній фільтр, призначений для видалення з повітряного потоку найбільших частинок пилю, що дозволяє підвищити термін дії ЗІЗОД. Для його виготовлення можуть бути використані матеріали з лавсанових, поліамідних або поліпропіленових волокон з відносно великим діаметром і незначною щільністю їх упакування. Третій – фільтрувальний, призначений для тонкого очищення повітря, визначає ступінь захисної ефективності ЗІЗОД. Для його виготовлення використовуються поліпропіленові матеріали з відносно невеликим діаметром волокон (див. таблицю 2.7).

Таблиця 2.7 – Основні технічні характеристики фільтрувальних матеріалів

Марка фільтруваль-ного матеріалу	Середній діаметр волокон, мкм	Розривне наванта-ження, Н	Щільність волокон, г/м ²	Опір при лінійній швидкості повітряному потоку 1 см/с, Па	Коефіцієнт проникнення за тест-аерозолем ПФ* при лінійній швидкості повітряного потоку 1 см/с, %
ФПП 15-0,6	1,5	0,5	13 – 19	5 – 7	0,5
ФПП 15-1,5			25 – 30	12 – 15	0,01
Елефлен 5Р	2,5	11	45 – 50	3 – 5	6 – 9
НФП 0,5-0,1	2,0	10	40 – 45	4 – 6	6 – 8

*ПФ– парафінова олива.

Користуються популярністю також і спеціальні матеріали, виготовлені із суміші целюлози, азбесту і скловолокна. Четвертий – гігієнічний шар, може бути опорою для фільтрувального матеріалу, але часто використовується для забезпечення комфортних умов використання, наприклад, для вбирання вологи з підмаскового простору. У більшості сучасних конструкцій одноразових респіраторів обтюратор виготовляють з того самого матеріалу, що і саму півмаску. Однак для покращення ізолювальних властивостей можуть використати спеціальні ущільнюючі матеріали. Найчастіше це пінополіуретан, силікон, гума.

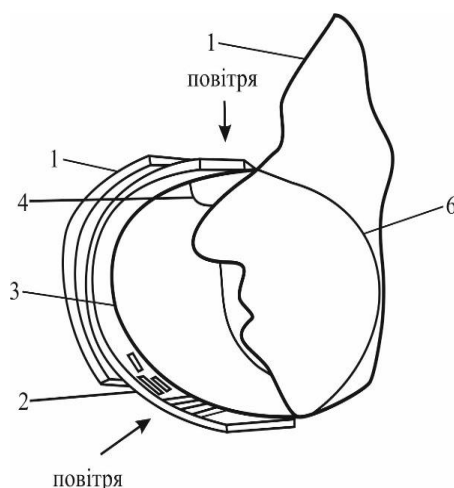


Рисунок 2.25 – Структура півмаски: 1 – зовнішній захисний шар; 2 – внутрішній захисний шар; 3 – матеріал фільтра; 4 – ущільнювач внутрішній; 5 – людське обличчя; 6 – шар для вбирання вологи.

Дослідні зразки ЗІЗОД обов’язково випробовуються в лабораторних умовах на відповідність вимогам НД (таблиці 2.8, 2.9).

Зауважуючи, що з кожним роком підвищуються вимоги до захисту працюючих, а також існує конкурентна боротьба між провідними виробниками ЗІЗОД за ринки збуту, даний алгоритм розробки конструкцій ЗІЗОД із заданими захисними та експлуатаційними властивостями необхідно постійно модернізувати і удосконалювати з метою скорочення часу проектування ЗІЗОД і підвищення якості кінцевого продукту.

Для цього важливо враховувати:

- особливості антропометричних характеристик облич працюючих, в тому числі за віком та статтю;

Таблиця 2.8 – Вимоги до фільтрувальних протиаерозольних респіраторів і півмасок

Найменування показника	ДСТУ EN 143:2002			ДСТУ EN 149:2017		
	Клас фільтра			Клас респіратора		
	P3	P2	P1	FF P3	FF P2	FF P1
Максимальний початковий коефіцієнт проникання аерозоллю хлориду натрію при витраті повітря 95 дм ³ /хв., %	0,05	6	20	1	6	20
Максимальний початковий коефіцієнт проникання аерозоллю парафінової оливи при витраті повітря 95 дм ³ /хв., %	0,05	6	20	1	6	20

Максимальний опір диханню на вдиху при витраті повітря 30 дм ³ /хв., мбар	1,2	0,7	0,6	1,0	0,7	0,6
Максимальний опір диханню на вдиху при витраті повітря 95 дм ³ /хв., мбар	4,2	2,4	2,1	2,1	2,4	3,0
Вміст діоксиду вуглецю у вдихуваному повітрі, %, не більш	–	–	–	1	1	1
Коефіцієнт підсосу, %	–	–	–	5	11	25

- параметри виробничого середовища (мікроклімат, якісний і кількісний склад небезпечних та шкідливих виробничих чинників);
- режими використання (тривалість, циклічність, періодичність);
- важкість і напруженість праці;
- взаємозв'язки між конструктивними елементами ЗІЗОД для забезпечення їх функціональної цілісності.

Аналізуючи сучасні тенденції, можна спрогнозувати, що покращення алгоритму розробки ЗІЗОД відбуватиметься в сфері пошуку нових ефективних методів із:

- швидкої обробки статистичних даних антропометричних параметрів облич з метою побудови аутентичної цифрової моделі голови, яка б дозволяла враховувати у цифровому зображенні зміни рис обличчя працівників за віком, статтю і національністю;
- коректної побудови 3D-поверхні півмаски, яка б дозволяла враховувати зміни індивідуальних рис людини при виготовленні обтюратора півмаски;

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

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

- теоретичного розрахунку захисної ефективності ЗІЗОД, що дозволяє на етапі проєктування провести оцінювання їх захисних властивостей з урахуванням як функціональних, так і експлуатаційних параметрів.

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