

УДК 73.614:004.92

КУЗЬМЕНКО В. В., ОСТАПЕНКО Н. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, Україна

DOI:10.30857/2617-0272.2024.3.17

**ПРОЄКТУВАННЯ ЕРГОНОМІЧНОЇ ЗАХИСНОЇ МАСКИ:
ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА ВИБІР 3D-СКАНЕРА Й ПРОГРАМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Мета: обґрунтувати доцільність вибору та використання пасивних 3D-сканерів на основі сучасних смартфонів з відповідним програмним забезпеченням.

Методологія дослідження базується на систематизації та узагальненні, порівняльному аналізі 3D-сканерів та програмному забезпеченні для них; візуально-аналітичному та інформаційно-дослідницькому підходах.

Результати. Представлено різновиди активних та пасивних пристроїв з відповідним програмним забезпеченням для операційних систем iOS та Android, описано принципи їх роботи для застосування у проєктних пропозиціях створення ергономічних захисних масок різного призначення. Доведено доцільність використання пасивних 3D-сканерів; надано графічне зображення місць розміщення робочих елементів активних 3D-сканерів. Запропоновано критерії вибору програмного забезпечення для візуалізації проєктного рішення та оцифрування маски на обличчі. Обґрунтовано вибір медичної хірургічної маски із різних матеріалів для повсякденного носіння та як засобу індивідуального захисту органів дихання. Представлено інтерфейс (робоче вікно) додатку «Polysat» на різних етапах візуалізації для створення 3D-моделі маски на обличчі.

Наукова новизна. Охарактеризовано, узагальнено, унаочнено та виокремлено найбільш популярне програмне забезпечення для смартфонів з операційними системами Android та iOS, обґрунтовано вибір програм «Polysat» для Android та «Scaniverse» для iOS на основі запропонованих критеріїв та ознак.

Практична значущість. Запропоновано підходи до створення нових проєктних рішень різновидів ергономічних захисних масок у практичному застосуванні пасивних 3D-сканерів на базі смартфонів з відповідним програмним забезпеченням. На основі аналізу досліджень надано рекомендації щодо використання пристрою та програмного забезпечення для візуалізації засобів індивідуального захисту органів дихання. Дослідження ефективності 3D-сканування тіла людини та його окремих об'єктів (площин) може бути корисним проєктувальникам одягу різного призначення, геймдизайнерам (3D-художникам, художникам мультимедійних персонажів), IT-фахівцям тощо.

Ключові слова: дизайн, захисні маски для обличчя, 3D-моделювання, ергономіка, візуалізація форми, 3D-сканування обличчя людини, програмне забезпечення, інноваційні 3Dface-технології.

Вступ. Високий рівень 3D-візуалізації об'єктів сканування є надзвичайно важливим для унаочнення об'ємного дизайн-рішення як виробу в цілому, так і його складових, оцінювання їх пропорцій, масштабування, естетики та ергономіки композиційно-конструктивних рішень.

Існує велика кількість пристроїв та відповідного програмного забезпечення для сканування об'єктів, що використовуються в різних сферах життя. Так, наприклад, у медицині при скануванні щелепи у стоматології, при плануванні

операцій пластичними та нейрохірургами, в архітектурі – при плануванні простору, для оцифрування історичних пам'яток, їх реконструкції; у криміналістиці – оцифруванні місць злочину [1; 2], ідентифікації людей; в інженерії – у зворотній розробці [3]; в індустрії розваг – захопленні руху [4; 5] для фільмів, анімацій та ігор. Тип пристрою обирають відповідно до завдання, яке необхідно виконати.

Також актуальним залишається питання забезпечення надійності засобів індивідуального захисту органів дихання

(ЗІЗОД) в умовах функціонування сучасних виробництв, а також практичній роботі медичних закладів. Тому, попередніми дослідженнями авторами вже запропоновано основні підходи до проєктування сучасних дизайн-продуктів з використанням актуальних напрацювань у створенні текстилю, а також особливостей проєктування надійних засобів захисту обличчя та органів дихання, в тому числі фільтруючих полумасок. Разом з тим, й дотепер залишаються недостатньо дослідженими питання застосування інноваційних 3Dface-технологій для забезпечення надійного захисту людини.

Аналіз попередніх досліджень.

Сучасний розвиток технологій 3D-сканування дозволяє відтворити видиму реальність і у віртуальному світі. Так, наприклад, дизайнери модного бізнесу мають можливість експериментувати з оцифрованим одягом в різних графічних редакторах, змінюючи їх колір, текстуру матеріалу тощо. Це дозволяє переглядати новостворені проєктні варіанти без втрати часу на реалізацію чергової ітерації продукту, що полегшує та удосконалює роботу дизайнера. Наразі, при виконанні дослідницьких, медичних та комерційних проєктних завдань, найчастіше використовують високовартісні стаціонарні системи для 3D-сканування. Серед них розповсюдженою та відомою є високотехнологічна система для отримання високдеталізованих і точних тривимірних зображень обличчя людини – 3dMDface [6]. Проте, дослідження закордонних вчених аргументовано доводять можливість використання менш вартісних та простіших у користуванні систем для виконання завдань, для яких точність не є ключовим фактором. На основі аналізу наукових праць встановлено різні підходи до обґрунтованого вибору різних технологій оцифрування обличчя людини.

Частина науковців дотримується підходу, що достатніми для оцифрування

обличчя є пасивні 3D-сканери. Так, колектив вчених Andrews J., Alwafi A., Bichu Y. та ін. [7] запропонували альтернативу стаціонарній та широковживаній системі 3dMDface – менш відомий пристрій iPhone та додаток Bellus3 із середньоквадратичним відхиленням до 2 мм порівняно з еталонними даними стандартної системи. Автори Thurzo A., Strunga M., Havlínová R. та ін. [8] провели порівняльний аналіз характеристик пристроїв та встановили, що використання iPhone та Bellus3D має різницю у вимірюваннях до 3мм, порівняно з еталоном, та обмежену сферу застосування в медицині при (ортодонтчному огляді та оцінці). Науковці D’Ettorre G., Farronato M., Candida E. у своєму дослідженні [9] довели, що за допомогою додатків для смартфонів на основі технології TrueDepth можна отримати 3D-моделі обличчя з високим рівнем точності для виконання поставлених різноманітних завдань, в тому числі лікарям-стоматологам. Вчені доводять, що смартфони з додатками є портативними та менш вартісними на відміну від стаціонарних та професійних аналогів. Автори праць Hajeem R., Nicole W., Friscia M., Seidita F. та ін. [10, 11] також стверджують, що використання пластичними хірургами в своїй практиці смартфонів iPhone X являють собою доступну альтернативу складним системам сканування. Вчені Liu J., Zhang C., Cai R. та ін. [12] визначили, що точність кожного вимірювання сканера була прийнятною для діагностики та планування лікування людини. Точність оцифрування 3D-моделей обличчя та маски, отриманих за допомогою 3dMD і Bellus3D, продемонстрували достатню повторюваність сканування.

Інша частина вчених вважає підхід щодо використання активних сканерів більш ефективним через вищу точність сканування. Нижче обґрунтовано переваги підходу використання активних 3D -сканерів. Так, колективом авторів Zhao YJ.,

Xiong YX., Wang Y. в праці [13] висвітлено, що два методи оцифрування обличчя за допомогою структурованого світла та стереофотографії мають достатню точність для використання у стоматологічній практиці. Науковці Wen A., Zhu Y., Xiao N. та ін. запропонували автоматичне визначення 3D-анатомічних орієнтирів обличчя за допомогою алгоритму MeshMonk [14]. Колектив авторів Cortes R.G., Galea K., No-Cortes J. та ін. у роботі [15] довів можливість проектування ергономічних засобів індивідуального захисту органів дихання для конкретного споживача за допомогою сканування його обличчя 3D-сканером та друку маски з відповідними зонами обтюрації.

Постановка завдання. Відповідно до мети та об'єкту дослідження, першочерговим визначено необхідність та доцільність обґрунтованого вибору 3D-сканеру з відповідним програмним забезпеченням та широкодоступними операційними системами на основі аналізу характеристик існуючих на ринку України пристроїв. Такий підхід дозволить забезпечити візуальне відтворення образного проектного рішення ергономічної захисної маски на людині при скануванні її обличчя із заданою точністю, а у подальшому надати рекомендації щодо широкого практичного використання пристроїв, доступних на платформі

цифрової дистрибуції Google Play на базі операційної системи Android, на платформі цифрової дистрибуції App Store на базі операційної системи iOS, а також програмного забезпечення до них, з метою застосування інноваційних технологій індивідуального виготовлення різновидів захисних масок.

Результати дослідження та їх обговорення. Відомо, що тривимірні моделі в узагальненому та деталізованому видах виразно відображають формоутворення об'ємного виробу, конфігурацію, розміщення, ступінь прилягання тощо. Завдяки якісній візуалізації можна проаналізувати композиційну рівновагу форм, співвідношення функціональних елементів, і таким чином визначити ступінь естетичної привабливості представленого дизайн-об'єкта. Відтворена 3D-модель маски повною мірою може сформувати цілісне уявлення про виріб, його складові та їх співвідношення, пластичні властивості матеріалу. Відомо також [16], що 3D-сканер – це пристрій для побудови цифрових тривимірних моделей на основі аналізу об'єкту або середовища реального світу для збору даних щодо його форми і, за можливості, кольору. 3D-сканери різняться за видами; на рис.1 представлена їх класифікація.

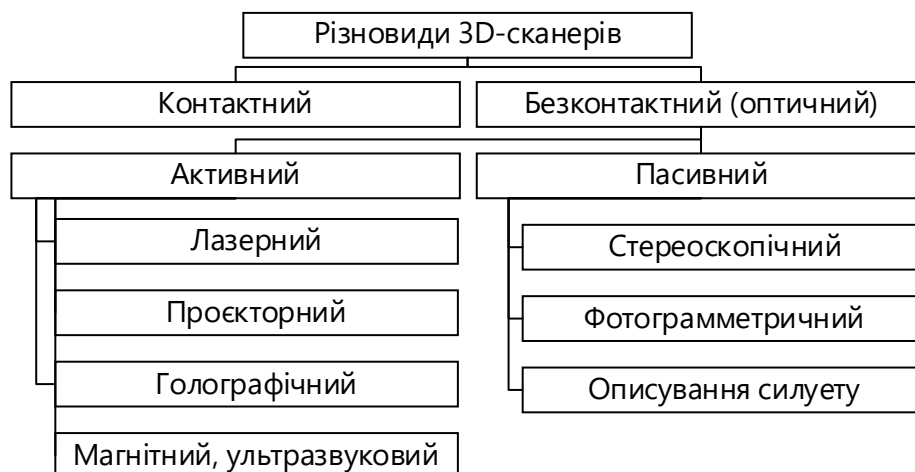


Рис. 1. Класифікація різновидів 3D-сканерів

Дослідженнями виявлено, що контактні 3D-сканери дозволяють оцифрувати закріплені об'єкти за допомогою фізичного багатократного дотику до поверхні об'єкту. Вони мають ряд суттєвих обмежень, що робить їх придатними для сканування лише об'єктів для зворотної розробки/копіювання виробів [17]. Безконтактні 3D-сканери являють собою пристрої, які використовують для створення тривимірних моделей об'єктів без фізичного контакту з ними; поділяються на пасивні та активні.

Отже, контактні 3D-сканери мають ряд суттєвих обмежень, що робить їх придатними лише для високоточного сканування об'єктів для зворотної розробки або копіювання виробів [17]. Безконтактні пасивні та активні 3D-сканери призначені для створення тривимірних моделей дизайн-об'єктів. Пасивні використовують навколишнє світло та одну або дві камери разом з необхідним програмним забезпеченням та дозволяють створювати цифрові моделі об'єктів. Ці пристрої мають низьку собівартість, невисоку точність та якість сканування. До них належать стереоскопічний та фотометричний 3D-сканер, сканер силуету. Стереоскопічний 3D-сканер [18] використовує дві камери або сенсори для збору інформації про глибину та створення тривимірного зображення об'єктів або рекреацій сцен. Сканування цим пристроєм ґрунтується на принципі бінокулярного бачення, схожого на те, як людські очі сприймають глибину, порівнюючи зображення з обох очей. Типовий стереоскопічний 3D-сканер зазвичай складається з двох камер або інших сенсорів, які розташовані на фіксованій відстані одна від одної та одночасно фіксують зображення з незначними відхиленнями точок огляду. Отримані камерами зображення обробляються та аналізуються для створення 3D-моделі, ідентифікуючи розбіжності між двома зображеннями.

Фотометричне 3D-сканування [19; 20], також відоме як фотометрична стереоскопія – це технологія, що використовує кілька 2D-зображень об'єкта. Його фотографують з кількох точок огляду під різними джерелами світла або під різними кутами освітлення. Зміна освітлення створює різні тіні та світлі ділянки на поверхні об'єкта, які фіксуються на серії зображень, що далі використовуються для обчислення векторів нормалі на поверхні в кожній точці об'єкта за допомогою алгоритмів фотометричної стереоскопії. Вектори нормалі – це вектори, що перпендикулярні до поверхні в кожній точці. Знаючи їх напрямки, ми можемо відтворити тривимірну форму об'єкта. Точність та роздільна здатність отриманої 3D-моделі залежать від кількості зображень та якості освітлення.

Сканування силуету [21] – це технологія, за допомогою якої фіксується форма та контури об'єкта, аналізуючи його силует або абрис. На відміну від інших методів сканування, які відтворюють повну поверхневу геометрію об'єкта, сканування силуету фокусується на фіксуванні зовнішньої форми та країв об'єкта. Для фіксування сканером силуету об'єкта його розміщують між джерелом світла та камерою. Світло проєктується на об'єкт, а камера записує тінь або силует об'єкта на фоновій поверхні. Аналізуючи знятий силует, визначається контур та форма об'єкта. Дані, зібрані з різних кутів, можуть бути об'єднані для створення повної тривимірної репрезентації зовнішньої поверхні об'єкта.

Активні 3D-сканери на відміну від пасивних оснащені проєкторами, що опромінюють об'єкт структурованим світлом у вигляді ліній або квадратів з різним рівнем освітленості, або лазерами, що випромінюють світло у вигляді ліній. Камери фіксують викривлення ліній і квадратів та завдяки програмному забезпеченню отримані зображення

викривлень інтерпретуються в модель об'єкту. До активних належать лазерний та проекторний 3D-сканери.

Лазерне 3D-сканування використовує лазерне світло для отримання інформації про геометрію та деталі поверхні об'єктів. Сканер (рис. 2) випромінює лазерні промені на поверхню об'єкта і вимірює час на відбиття світла та повернення до сенсора, що дозволяє розраховувати відстань від сенсора до кожної точки на поверхні об'єкта. Такі пристрої зазвичай складаються з лазерного джерела, механізму сканування для направлення променя та сенсора для отримання відбитого світла. Лазерний промінь проектується на об'єкт, коли сканер рухається або об'єкт обертається, вимірюються кілька точок на поверхні. Вони утворюють точкову хмару/point cloud – набір 3D-координат, які зображують форму об'єкта [22].

Поєднуючи координати різних точок з декількох місць огляду, лазерний сканер створює комплексну 3D-модель об'єкта, записуючи його геометрію та особливості поверхні з високою точністю.

Ще одним різновидом активного сканування є проекторне (рис. 3), що використовує проектор для відображення

рисуноків або світла на поверхню об'єкта. Сканер зчитує деформацію цих рисунків, коли вони обгортають форму об'єкта, та відтворює 3D-зображення поверхні об'єкта. Рисунки можуть бути у вигляді сіток, смуг або інших складних зображень. Камера або сенсор, розташовані під кутом від проектора, записують деформовані світлові рисунки. Програмне забезпечення використовує зібрану інформацію для триангуляції 3D-координат кожної точки на поверхні об'єкта. Поєднуючи кілька наборів рисунків та відповідних зображень камери з різних кутів, сканер створює детальну 3D-модель об'єкта [23].

На основі характеристик різновидів 3D-сканерів обрано безконтактні пасивні пристрої, зокрема на основі технологій стереоскопії та фотограмметрії. До таких належать смартфони різних виробників, які потребують більш детального аналізу характеристик точності сканування об'єктів.

Дослідженнями виявлено, що Android-пристрої можуть здійснювати 3D-сканування різними методами. Варто зазначити, що не всі смартфони мають вбудовані датчики або камери, придатні для високоякісного 3D сканування.

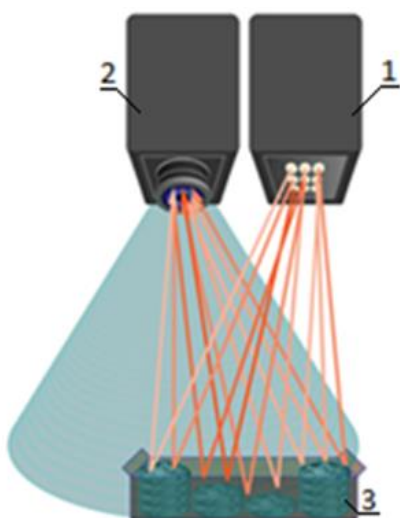


Рис. 2. Графічне зображення місць розміщення робочих елементів активних лазерних 3D-сканерів:

1 – інфрачервоне джерело світла;
2 – ToF датчик; 3 – об'єкт

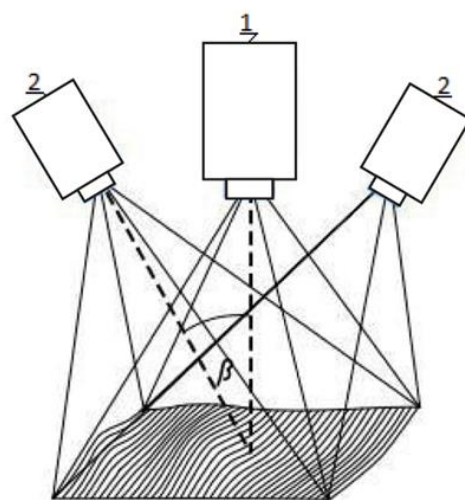


Рис. 3. Графічне зображення місць розміщення робочих елементів активного проекторного 3D-сканеру: 1 – проектор, 2 – камера

Зазвичай додатки, доступні в Google Play Store, дозволяють використовувати вбудовані камери смартфона для створення 3D-моделей з невисокою точністю. Деякі додатки пропонують використання технології структурованого світла або інші методи для оцифрування, що дозволяють збільшити точність 3D-моделей. Смартфони, що мають додаткові датчики, наприклад глибини або додаткові камери, дозволяють отримати 3D-моделі з високою деталізацією. Деякі моделі Samsung Galaxy, Xiaomi та інших виробників мають датчик Time-of-Flight (ToF) [24].

ToF – це тип датчика, який використовується у деяких смартфонах для вимірювання відстані за виразом (1) до об'єктів шляхом визначення часу, який потрібний для відбивання та повернення на сенсор лазерного променя або інфрачервоного світла від об'єкта.

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2}, \quad (1)$$

де c – швидкість світла, м/с, t – час, с.

Технологія ToF подібна до технології LiDAR, але використовує інфрачервоне світло замість лазерного променя. ToF-датчик, як правило, розташований поряд з камерами на задній частині смартфона або в спеціальній додатковій камері. Основними переваги ToF-датчика виявлено такі:

– висока точність вимірювання відстані до об'єктів в їх широкому діапазоні (від декількох сантиметрів до кількох метрів), що підвищує якість 3D-сканування та реалістичність проєкцій в AR-додатках;

– висока швидкість роботи, що дозволяє прискорити сканування, розпізнавати жести в реальному часі;

– компактність та економічність, що проявляється у виготовленні в компактних та легких форм-факторах для простої інтеграції у різноманітні пристрої та системи з живленням від батареї.

На мобільних пристроях iOS, зокрема на iPhone X або сучасніших моделях, можна здійснювати 3D-сканування за допомогою додатків та датчиків, зокрема шляхом

використання технологій LiDAR [24] і TrueDepth, яка використовує NIR (Near Infrared) датчик з інфрачервоними світлодіодами для створення точкової хмари/point cloud обличчя, що зберігає тривимірні координати точок поверхні. Це дозволяє створювати детальні 3D-моделі обличчя людини, що використовуються, наприклад, для розблокування пристрою, анімації та AR-застосунків.

Також 3D-сканування поверхонь є найпоширенішою технологією LiDAR. Датчик вимірює відстань до об'єктів та створює точні мапи по точковим хмарам/point cloud поверхні. Це може використовуватись для сканування кімнат, деталей архітектури або будь-яких інших об'єктів, що вимагають високої точності.

Серед найбільш популярних інтернет-магазинів додатків, ігор, музики, книг для мобільних пристроїв з операційними системами Android і iOS відомими є «PlayMarket» [25] та «AppStore» [26]. Ці магазини надають можливість користувачам завантажувати, встановлювати та оновлювати різноманітні програми на смартфонах та інших пристроях, що працюють на відповідних операційних системах. Систематизовано характеристики програмного забезпечення для смартфонів доступних на платформі цифрової дистрибуції Google Play на базі операційної системи Android та App Store на базі операційної системи iOS; наведено у таблицях 1 та 2.

На основі аналізу характеристик (використання датчиків та оцінок користувачів) було обрано програму для телефонів з операційною системою Android – «Polycam», адже для роботи вона може використовувати технологію LiDAR та має найвищі оцінки користувачів. Для смартфонів та планшетів Apple (iPhone/iPad) раціональним вибором буде програма(додаток) «Scaniverse», через використання технології LiDAR та найвищі оцінки користувачів.

Таблиця 1

Характеристики програмного забезпечення для смартфонів доступних на платформі цифрової дистрибуції Google Play на базі операційної системи Android

Назва програми	Розробник	Використання датчиків	Кількість завантажень	Рейтинг оцінок користувачів	Вартість
Polycam	Polycam	LiDar	1 млн+	4,6	Умовно безкоштовна*
WIDAR	WOGO, Inc.	н/д	100 тис.+	3,8	Умовно безкоштовна*
MagiScan	AR Generation	н/д	100 тис.+	4,0	Безкоштовна
RealityScan	Epic Games International, S.à.r.l.	н/д	10 тис.+	4,0	Безкоштовна
KIRI Engine	KIRI Innovations	н/д	50 тис.+	3,0	Безкоштовна

* – має певні обмеження функціоналу, що стають доступними після придбання

Таблиця 2

Характеристики програмного забезпечення для смартфонів доступних на платформі цифрової дистрибуції App Store на базі операційної системи iOS

Назва програми	Розробник	Використання датчиків	Рейтинг оцінок користувачів	Вартість
Polycam	Polycam Inc.	LiDAR	4.7	Безкоштовна
Scaniverse	Toolbox AI	LiDAR	4.8	Безкоштовна
3d Scanner App™	Laan Labs	н/д	4.7	Безкоштовна
MagiScan	ar-generation	LIDAR	4.6	Безкоштовна
Metascan	Abound Labs Inc.	LiDAR	4.6	Безкоштовна
Scandy Pro 3D Scanner	Scandy Inc.	н/д	4.3	Умовно безкоштовна*

* – має певні обмеження функціоналу, що стають доступними після придбання

Для подальшого дослідження було обрано смартфон на базі операційної системи Android та додаток «Polycam».

На основі аналізу характеристик (використання датчиків та оцінок користувачів) було обрано програму для телефонів з операційною системою Android – «Polycam», адже для роботи вона може використовувати технологію LiDar та має найвищі оцінки користувачів. Для смартфонів та планшетів Apple (iPhone/iPad) раціональним вибором буде програма(додаток) «Scaniverse», через використання технології LiDar та найвищі

оцінки користувачів. Для подальшого дослідження було обрано смартфон на базі операційної системи Android та додаток «Polycam».

Сьогодні найпоширенішими виявляються засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД), призначені відповідно до визначення ДСТУ EN 132:2004 "Засоби індивідуального захисту органів дихання. Терміни та піктограми» для захисту дихальних шляхів користувача від вдихання повітря, яке спричиняє шкідливий вплив на здоров'я. До них належать протигази, респиратори, медичні хірургічні маски тощо.

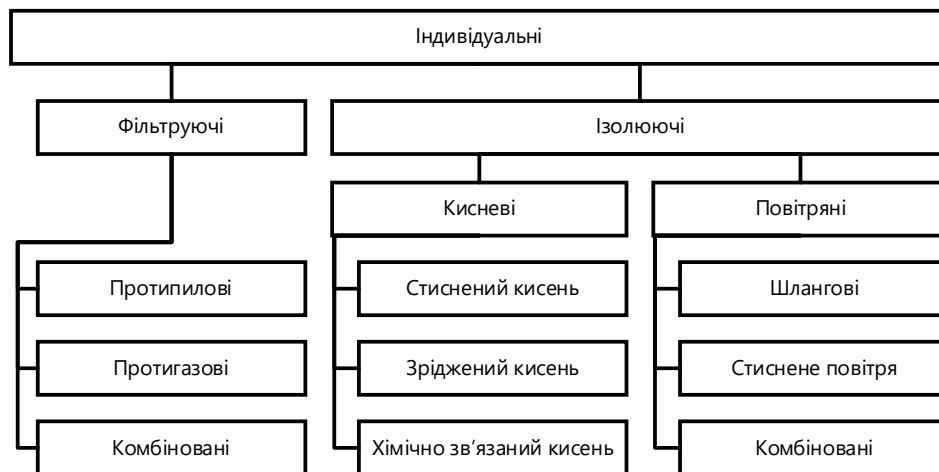


Рис. 4. Систематизація засобів індивідуального захисту органів дихання за принципом дії

Систематизація засобів індивідуального захисту органів дихання за принципом дії наведено на рисунку 4 [27]. Найбільш широковживаним серед засобів індивідуального захисту органів дихання є хірургічна маска, що складається з одного або кількох шарів, що забезпечують захист органів дихання від небезпечних або потенційно небезпечних факторів. Вона може виготовлятися із різних текстильних або нетканих матеріалів, які мають різні фізичні властивості. Маска кріпиться на обличчі за допомогою еластичного пасма, шнурів з фіксаторами, що забезпечує ергономічність виробу.

Для подальших досліджень обрано повсякденні хірургічні/медичні маски як найбільш широковживані. Відомо [28], що маска прикриває рот, ніс і підборіддя, утворюючи бар'єр для аерозолів, пилу та інших шкідливих факторів, фіксується на голові та (або) за вухами за допомогою еластичної тасьми, шнурів з фіксаторами; на носі – носового фіксатора тощо. Вони можуть виготовлятися із текстильних або нетканих матеріалів, з одного і більше шарів матеріалів з різними властивостями. Приклад використання оцифрованих моделей маски та маски на обличчі людини наведено на рис. 5.

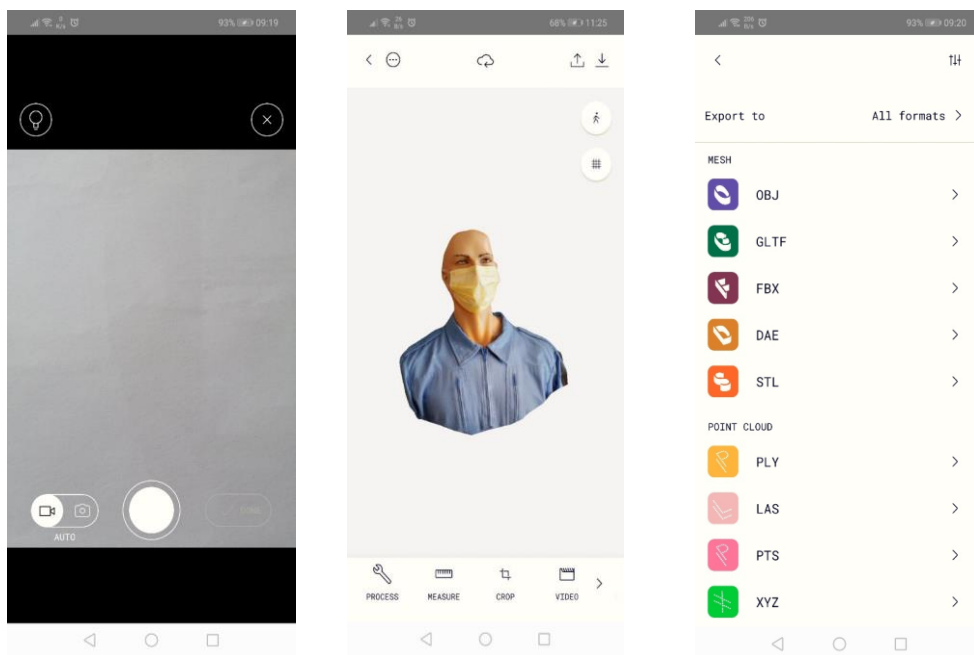
Об'єктом сканування у дослідженнях було обрано хірургічну маску як окремий об'єкт, а також хірургічну маску на обличчі

за допомогою смартфона на базі операційної системи Android та додатку «Polycam». Оцифровування відбулось за рахунок створення масиву фотографій (рис. 5, а) та їх подальшої обробки на сервері розробника. Готову модель маски на обличчі (рис. 5, б) можна експортувати в різних форматах (рис. 5, в).

Для редагування STL-файлів використовують різні програми [29]. Найпопулярнішим серед безкоштовних програм є Blender [30] – програмний пакет з відкритим кодом (розповсюджується під ліцензією GNU GPL) для 3D-моделювання, анімації, рендеринга, пост-продакшену. Користується популярністю для роботи над комерційними та некомерційними проектами.

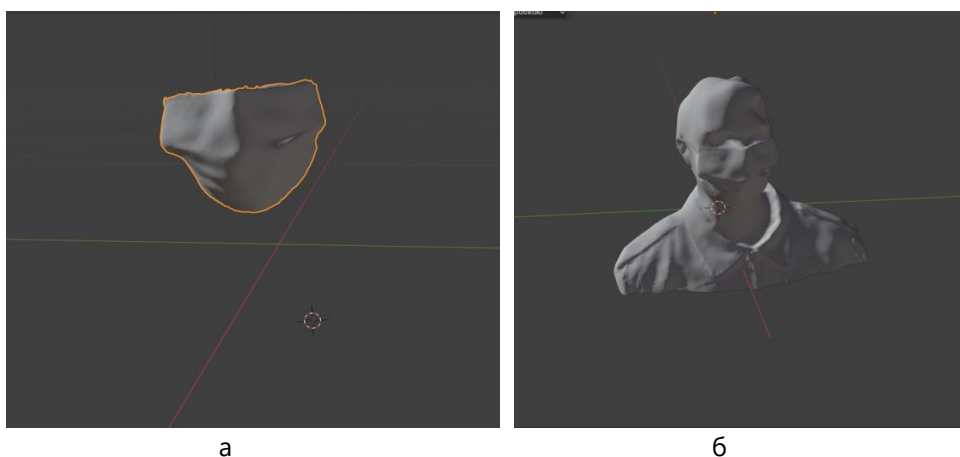
Також відомим є Tinkercad [31] – онлайн-інструментом від Autodesk, що робить доступним для використання на багатьох пристроях. Користується популярністю серед освітян та студентів через простий інструментарій зрозумілий для початківців і дозволяє швидко модифікувати STL файли.

Слід зазначити про SolidWorks [32] – це платне професійне програмне забезпечення для 3D-моделювання, що широко використовується у сфері інженерного проектування, інноваційного дизайну, проектуванні новітніх дизайн-продуктів.

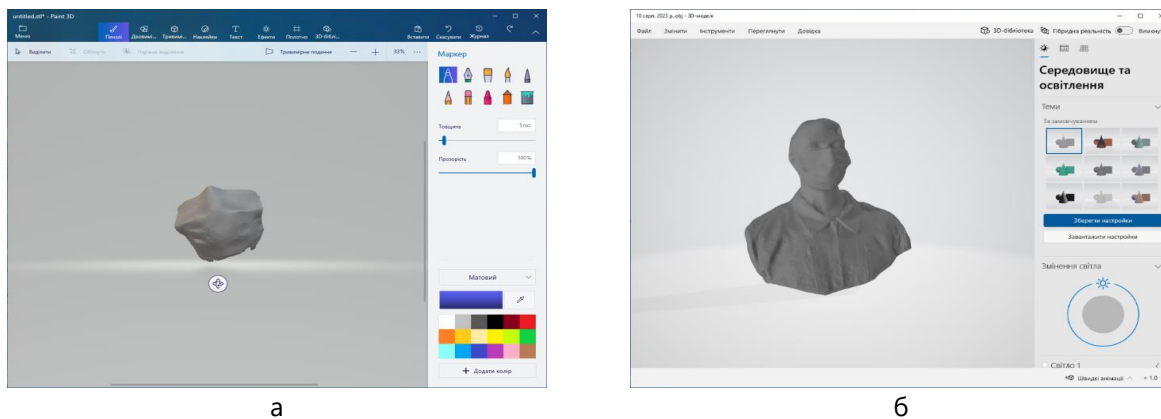


а б в
Рис. 5. Робоче вікно (інтерфейс) додатку «Polusam» на етапі:

а – сканування, б – готові 3D-моделі, в – вибір експортних форматів із меню



а б
Рис. 6. Робоче вікно (інтерфейс) програми «Blender» та об'єкт для редагування:
а – хірургічна маска на обличчі; б – відредагована 3D-модель – хірургічна маска



а б
Рис. 7. Робоче вікно Інтерфейс програми для візуалізації готових моделей:
а – маски на обличчі; б – маски

Програмний продукт SolidWorks дозволяє користувачам створювати детальні 3D-моделі компонентів та збірок. Це параметричне моделювання забезпечує високу точність та контроль створення різноманітних продуктів сучасного дизайну, дозволяючи легко модифікувати та оновлювати проекти. Програмний пакет може бути використано для редагування STL-файлів. Для прикладу роботи графічного редактора нами було обрано безкоштовну програму Blender через високу швидкість роботи та доступність на багатьох операційних системах персональних комп'ютерів. Робоче вікно (інтерфейс) програми «Blender» та об'єкт для редагування наведено на рис. 6. 3D-моделі хірургічної маски на обличчі та редагована хірургічна маска зображено на рис. 7.

Отримані 3D-моделі маски вказують, що їх форма спрощено та у загальних рисах повторює форму тієї частини обличчя людини, яку вона закриває. При цьому у фронтальній площині виріб майже повторює контур обличчя за виключенням випуклості, утвореною нижче рівня вилиць. Її візуалізовано по бічним краям маски за рахунок натягу тасьм, що не завжди сприймаються естетично, бо спотворює природну форму обличчя. Маска щільно прилягає на підборідді, вилицях через еластичні стрічки, основі носу за допомогою носового фіксатора, забезпечуючи ергономіку виробів. Питання естетики формоутворення природної форми обличчя людини у масці потребує комплексного вирішення шляхом обґрунтованого вибору матеріалів для виготовлення асортименту захисних та медичних масок відповідно функції призначення.

Висновки. Проведені дослідження дозволили обґрунтувати доцільність вибору

та використання пасивних 3D-сканерів з відповідним програмним забезпеченням на основі сучасних смартфонів з операційними системами iOS та Android для застосування у проєктних пропозиціях щодо створення ергономічних захисних масок різного призначення. Вказано різновиди активних та пасивних пристроїв для тривимірного сканування з відповідним програмним забезпеченням, описано принципи їх роботи, а також надано графічне зображення схеми розміщення робочих елементів активних 3D-сканерів. Доведено доцільність використання пасивних 3D-сканерів на базі смартфонів та запропоновано критерії вибору програмного забезпечення для оцифрування обличчя людини в масці та візуалізації проєктного образу. В дослідженні обґрунтовано доцільність вибору хірургічної маски для повсякденного носіння серед інших засобів індивідуального захисту органів дихання із різних матеріалів через їх розповсюдженість та частоту використання. Представлено зображення робочого вікна (інтерфейсу) додатку «Polyscan» на різних етапах оцифрування обличчя та маски на ньому, створення та експорт 3D-моделі. Охарактеризовано програмне забезпечення для смартфонів з операційними системами Android та iOS, обґрунтовано вибір програми на основі запропонованих критеріїв/ознак. На основі аналізу досліджень надано рекомендації щодо використання пристрою та програмного забезпечення для візуалізації засобів індивідуального захисту органів дихання; пошуку інноваційних проєктно-технологічних рішень у естетичному створенні 3D-моделі обличчя людини у захисній масці для повсякденного носіння.

Література:

1. Терешкевич А. І. Застосування методу 3d-сканування об'єктів в експертній службі МВС України. Криміналістичний вісник, Київ: ДНДЕКЦ МВС України. 2014. № 2 (22), С. 158-160

2. Шехавцов Р. М. Можливості використання технологій 3D сканування під час розслідування злочинів. Вісник Луганського державного університету внутрішніх справ імені Е.О. Дідоренка. 2010. № 3. С. 247-251.

3. Долгополов Д. Зворотний інжиніринг засобами цифрового 3d-моделювання. *Актуальні проблеми математики, фізики і технологій* : зб. наук. пр. Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського. Вінниця: ТОВ «Меркьюрі-Поділля», 2020. Вип. 17. С. 37-41
4. Motion capture. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture (дата звернення: 12.09.2023).
5. Zhu Y. Application of Motion Capture Technology in 3D Animation Creation. Proceedings of the 3rd International Conference on Culture, Education and Economic Development of Modern Society (ICCESE 2019) Wuhan Business University Wuhan, China. P. 452-456 <https://doi.org/10.2991/iccese-19.2019.101> (дата звернення: 13.09.2023).
6. 3dMD Applications. From Healthcare to Artificial Intelligence. URL: <https://3dmd.com/> (дата звернення: 01.08.2023).
7. Andrews J., Alwafi A., Bichu Y. M., Pliska B. T., Mostafa N., Zou B. Validation of three-dimensional facial imaging captured with smartphone-based photogrammetry application in comparison to stereophotogrammetry system. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, Iss. 5, E15834. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15834> (дата звернення: 5.10.2023).
8. Thurzo A., Strunga M., Havlínová R., Reháková K., Urban R., Surovková J., Kurilová V. Smartphone-Based Facial Scanning as a Viable Tool for Facially Driven Orthodontics? *Sensors*. 2022. Vol. 22, Iss. 20. P. 7752. <https://doi.org/10.3390/s22207752> (дата звернення: 8.10.2023).
9. D'Ettore G., Farronato M., Candida E., Quinzì V., Grippaudo C. A comparison between stereophotogrammetry and smartphone structured light technology for three-dimensional face scanning. *Angle Orthod*. 2022. 92 (3). P. 358–363. <https://doi.org/10.2319/040921-290.1>.
10. Hayeem R., Nicole W., Judy Y., Evan G., Oren T. Three-Dimensional Facial Scanning at the Fingertips of Patients and Surgeons: Accuracy and Precision Testing of iPhone X Three-Dimensional Scanner. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2020. Vol. 146(6), P. 1407-1417. DOI:10.1097/PRS.0000000000007387.
11. Friscia M., Seidita F., Committeri U., Troise S., Abbate V., Bonavolontà P, Dell'Aversana Orabona G., Califano L. Efficacy of Hilotherapy face mask in improving the trend of edema after orthognathic surgery: a 3D analysis of the face using a facial scan app for iPhone. *Oral and Maxillofacial Surgery*. 2022. Vol. 26, P. 485–490. <https://doi.org/10.1007/s10006-021-01015-0>.
12. Liu J., Zhang C., Cai R., Yao Y., Zhao Zh., Liao W. Accuracy of 3-dimensional stereophotogrammetry: Comparison of the 3dMD and Bellus3D facial scanning systems with one another and with direct anthropometry. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2021. Volume 160, Issue 6, P. 862-871. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889540621004467> (дата звернення: 03.11.2023).
13. Zhao Y-J., Xiong Y-X., Wang Y. Three-Dimensional Accuracy of Facial Scan for Facial Deformities in Clinics: A New Evaluation Method for Facial Scanner Accuracy . *National Institutes of Health*. 2017. PLoS ONE 12(1): e0169402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169402> (дата звернення: 09.11.2023).
14. Wen A., Zhu Y., Xiao N., Gao Z., Zhang Y., Wang Y., Wang S., Zhao Y. Comparison Study of Extraction Accuracy of 3D Facial Anatomical Landmarks Based on Non-Rigid Registration of Face Template. *Diagnostics*, 2023, 13(6), 1086. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13061086> (дата звернення: 15.11.2023).
15. Cortes R.G., Galea K., No-Cortes J., Sammut E., Alzoubi E.E., Attard N.J. Use of free CAD design software for 3D printing individualized face masks based on face scans. *International Journal of Computerized Dentistry*. 2020. 23(2):1-7. P.183-189.
16. 3D scanning. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanning (дата звернення: 07.08.2023).
17. What 3D Scanning Can Do for Reverse Engineering. *LinkedIn*. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/what-3d-scanning-can-do-reverse-engineering-3dscantech> (дата звернення: 14.09.2023).
18. Sun C-M., Beare R., Cheong K., Jung B.J., Kim M. Stereoscopic flatbed scanner. *Journal of Electronic Imaging*. Vol. 18, Iss. 1. 013002. <https://doi.org/10.1117/1.3059582>.
19. 3D scanning technologies and the 3D scanning process. ANI/WAA. URL: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/> (дата звернення: 12.08.2023).
20. Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D. UAV PHOTOGRAMMETRY FOR MAPPING AND 3D MODELING – CURRENT STATUS AND

FUTURE PERSPECTIVES – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22, 2011ISPRS Zurich 2011. DOI:10.5194/ isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011.

21. Xiong, H., Xu, J., Xu, Ch., Pan, M. Scanning freeform objects by combining shape from silhouette and shape from line structured light. International Symposium on Optoelectronic Technology and Application 2014: Laser and Optical Measurement Technology and Fiber Optic Sensors. Proc. of SPIE Vol. 9297, 92972F. 2014 DOI:10.1117/12.2071553.

22. Point cloud. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud (дата звернення: 20.10.2023).

23. What Is Structured Light Scanning? *MEDIT*. URL: <https://www.medit.com/what-is-structured-light-scanning/> (дата звернення: 24.11.2023).

24. ToF vs. LiDAR: What's the Difference? *Make Use Of*. URL: <https://www.makeuseof.com/tof-and-lidar-difference/> (дата звернення: 28.11.2023).

25. Google Play. *Wikipedia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Google_Play (дата звернення: 10.01.2024).

26. App Store (iOS/iPadOS). *Wikipedia*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/App_Store_\(iOS/iPadOS\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/App_Store_(iOS/iPadOS)) (дата звернення: 10.01.2024).

27. Kolosnichenko, O.V., Ostapenko, N.V., Kolosnichenko, M.V. The development of new forms of special clothes by design projecting methods. *Vlakna a Textil*, 2016, №23(2), P. 3–8.

28. ДСТУ EN 14683:2014. Маски хірургічні. Вимоги та методи випробування. Чинний від 2015-07-01. Вид. офіц. Київ: МІНЕКОНОМПРОЗВИТКУ УКРАЇНИ, 2015. 12 с.

29. STL. *Wikipedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format)) (дата звернення: 25.01.2024).

30. Blender. *Wikipedia*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Blender> (дата звернення: 14.01.2024).

31. Tinkercad. *Wikipedia*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Tinkercad> (дата звернення: 11.02.2024).

32. SolidWorks *Wikipedia*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> (дата звернення: 20.02.2024).

References:

1. Tereshkevych, A. I. (2014). Zastosuvannya metodu 3d-skanuvannya ob'ektiv v ekspertnyi sluzhbi MVS Ukrayiny. [Application of the method of

3d scanning of objects in the expert service of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine]. *Kryminalistychnyy visnyk, Kyiv: DNDEKTS MVS Ukrayiny*. 2(22), 158-160. [In Ukrainian].

2. Shekhavtsov, R. M. (2010). Mozhlyvosti vykorystannya tekhnolohiy 3D skanuvannya pid chas rozsliduvannya zlochyniv. [Possibilities of using 3D scanning technologies during the investigation of crimes]. *Visnyk Luhans'koho derzhavnoho universytetu vnutrishnikh sprav imeni E.O. Didorenka*. 3, 247-251. [In Ukrainian].

3. Dolhopolov, D. (2020). Zvortnyy inzhynirnyh zasobamy tsyfrovoho 3d-modelyuvannya. [Reverse engineering by means of digital 3d modeling]. *Aktual'ni problemy matematyky, fizyky i tekhnolohiy: zbirnyk naukovykh prats'*. [Actual problems of mathematics, physics and technologies: a collection of scientific papers]. Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University. Vinnitsa. 17, 37-41 [In Ukrainian].

4. Motion capture. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Motion_capture (Last accessed: 12.09.2023).

5. Zhu Y. (2019). Application of Motion Capture Technology in 3D Animation Creation. *Proceedings of the 3rd International Conference on Culture, Education and Economic Development of Modern Society (ICCESE 2019)* Wuhan Business University Wuhan, China. 452-456. <https://doi.org/10.2991/iccese-19.2019.101>

6. 3dMD Applications. From Healthcare to Artificial Intelligence. URL: <https://3dmd.com/> (Last accessed: 01.08.2023).

7. Andrews, J., Alwafi, A., Bichu, Y. M., Pliska, B. T., Mostafa, N., Zou, B. (2023). Validation of three-dimensional facial imaging captured with smartphone-based photogrammetry application in comparison to stereophotogrammetry system. *Heliyon*. 9(5), E15834. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15834>

8. Thurzo, A., Strunga, M., Havlínová, R., Reháková, K., Urban, R., Surovková, J., Kurilová, V. (2022). Smartphone-Based Facial Scanning as a Viable Tool for Facially Driven Orthodontics? *Sensors*. 22, 7752. <https://doi.org/10.3390/s22207752>

9. D'Ettoire, G., Farronato, M., Candida, E., Quinzi, V., Grippaudo, C. (2022). A comparison between stereophotogrammetry and smartphone structured light technology for three-dimensional face scanning. *Angle Orthod*. 92, 3, 358-363. <https://doi.org/10.2319/040921-290.1>.

10. Hayeem, R., Nicole, W., Judy, Y., Evan, G., Oren, T. (2020). Three-Dimensional Facial Scanning at the Fingertips of Patients and Surgeons: Accuracy and Precision Testing of iPhone X Three-Dimensional Scanner. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 146(6), 1407-1417. DOI:10.1097/PRS.0000000000007387.
11. Friscia, M., Seidita, F., Committeri, U., Troise, S., Abbate, V., Bonavolontà, P., Dell'Aversana Orabona, G., Califano, L. (2022). Efficacy of Hilotherapy face mask in improving the trend of edema after orthognathic surgery: a 3D analysis of the face using a facial scan app for iPhone. *Oral and Maxillofacial Surgery*. 26, 485-490. <https://doi.org/10.1007/s10006-021-01015-0>.
12. Liu, J., Zhang, C., Cai, R., Yao, Y., Zhao, Zh., Liao, W. (2021). Accuracy of 3-dimensional stereophotogrammetry: Comparison of the 3dMD and Bellus3D facial scanning systems with one another and with direct anthropometry. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 160(6), 862-871. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889540621004467> (Last accessed: 03.11.2023).
13. Zhao, Y-J., Xiong, Y-X., Wang, Y. (2017). Three-Dimensional Accuracy of Facial Scan for Facial Deformities in Clinics: A New Evaluation Method for Facial Scanner Accuracy. *National Institutes of Health*. PLoS ONE 12(1): e0169402. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169402>.
14. Wen, A., Zhu, Y., Xiao, N., Gao, Z., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, S., Zhao, Y. (2023). Comparison Study of Extraction Accuracy of 3D Facial Anatomical Landmarks Based on Non-Rigid Registration of Face Template. *Diagnostics*, 13(6), 1086. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13061086>
15. Cortes, R.G., Galea, K., No-Cortes, J., Sammut, E., Alzoubi, E.E., Attard, N.J. (2020). Use of free CAD design software for 3D printing individualized face masks based on face scans. *International Journal of Computerized Dentistry*. 23(2):1-7, 183-189.
16. 3D scanning. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanning (Last accessed: 07.08.2023).
17. What 3D Scanning Can Do for Reverse Engineering. *LinkedIn*. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/what-3d-scanning-can-do-reverse-engineering-3dscantech> (Last accessed: 14.09.2023).
18. Sun C-M., Beare R., Cheong K., Jung B.J., Kim M. Stereoscopic flatbed scanner. *Journal of Electronic Imaging*. 18(1). 013002. <https://doi.org/10.1117/1.3059582>.
19. 3D scanning technologies and the 3D scanning process. ANIWAA. URL: <https://www.aniwaa.com/guide/3d-scanners/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/> (Last accessed: 12.08.2023).
20. Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D. (2011). UAV PHOTOGRAMMETRY FOR MAPPING AND 3D MODELING – CURRENT STATUS AND FUTURE PERSPECTIVES – *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-1/C22, 2011ISPRS Zurich 2011. DOI:10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011.
21. Xiong, H., Xu J., Xu Ch., Pan M. (2014). Scanning freeform objects by combining shape from silhouette and shape from line structured light. *International Symposium on Optoelectronic Technology and Application 2014: Laser and Optical Measurement Technology and Fiber Optic Sensors*. Proc. of SPIE 9297, 92972F. DOI:10.1117/12.2071553
22. Point cloud. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud (Last accessed: 20.10.2023).
23. What Is Structured Light Scanning? *MEDIT*. URL: <https://www.medit.com/what-is-structured-light-scanning/> (Last accessed: 24.11.2023).
24. ToF vs. LiDAR: What's the Difference? *Make Use Of*. URL: <https://www.makeuseof.com/tof-and-lidar-difference/> (Last accessed: 28.11.2023).
25. Google Play. *Wikipedia*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Google_Play (Last accessed: 10.01.2024).
26. App Store (iOS/iPadOS). *Wikipedia*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/App_Store_\(iOS/iPadOS\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/App_Store_(iOS/iPadOS)) (Last accessed: 10.01.2024).
27. Kolosnichenko, O.V., Ostapenko, N.V., Kolosnichenko, M.V. (2016) The development of new forms of special clothes by design projecting methods. *Vlakna a Textil*, 23(2), 3-8.
28. Derzhavne ukrayins'ke ob'yednannya «Politekhmed» [State Ukrainian association "Polytechmed"]. (2015). Masky khirurhichni. Vymohy ta metody vyprovuvannya (DSTU EN 14683:2014). [Surgical masks. Requirements and test methods (DSTU EN 14683:2014)]. MINISTRY OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF UKRAINE.
29. STL. *Wikipedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/STL_\(file_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format)) (Last accessed: 25.01.2024).

30. Blender. *Wikipedia*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Blender> (Last accessed: 14.01.2024).

31. Tinkercad. *Wikipedia*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Tinkercad> (Last accessed: 11.02.2024).

32. SolidWorks *Wikipedia* URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> (Last accessed: 20.02.2024).

KUZMENKO V. V., OSTAPENKO N. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

DESIGNING AN ERGONOMIC PROTECTIVE MASK: VISUALISATION AND SELECTION OF 3D SCANNER AND SOFTWARE

Purpose. *To substantiate the feasibility of passive 3D scanners based on modern smartphones with appropriate software.*

Methodology. *is based on 3D scanners and appropriate software systematization and generalization, comparative analysis; visual-analytical and information-research approaches.*

Results. *The active and passive scanning devices type variety with corresponding software for iOS and Android operating systems presented, the operation principles and their use in project proposals for research and ergonomic protective masks with various purposes development described. The using passive 3D scanners feasibility; active and passive 3D scanners working elements placement graphic representation provided. Proposed software selection criteria for visualizing the design solution and digitizing the mask on the human face. Substantiated medical surgical mask made of different materials for everyday wear and as an individual protection of respiratory organs choiced. The "Polycam" application interface presented at various stages of visualization and a face mask 3D model creation.*

Scientific novelty. *Characterized, summarized, visualized and singled out the most popular software for smartphones with Android and iOS operating systems, the "Polycam" for Android and "Scaniverse" for iOS programs is justified based on the proposed criteria and features are choiced.*

Practical significance. *Proposed approaches for the new design solutions, for ergonomic protective masks varieties creation, passive 3D scanners based on smartphones with appropriate software for practical use. Based on the analysis of the studies, the device and software recommendations use for visualization of personal respiratory protective equipment are provided. The 3D scanning effectiveness of the human body and its specific volumes (planes) researched and can be useful for clothing designers of various purposes, game designers (3D artists, multimedia character artists), IT specialists, etc.*

Keywords: *design, protective face masks, 3D modeling, ergonomics, form visualization, 3D scanning of the human face, software, innovative 3Dface technologies.*

ІНФОРМАЦІЯ
ПРО АВТОРІВ:

Кузьменко Володимир Володимирович, аспірант, кафедра моди та стилю, Київський національний університет технологій та дизайну, ORCID 0000-0002-7983-1688, **e-mail:** kuzmenko.volodymyr.95@gmail.com

Остапенко Наталія Валентинівна, д-р техн. наук, професор, декан факультету мистецтв і моди, Київський національний університет технологій та дизайну, ORCID 0000-0002-3836-7073, Scopus 57191843580, **e-mail:** cesel@ukr.net

Цитування за ДСТУ: Кузьменко В. В., Остапенко Н. В. Проєктування ергономічної захисної маски: візуалізація та вибір 3D-сканера й програмного забезпечення. *Art and design*. 2024. №3(27). С. 204–217.

<https://doi.org/10.30857/2617-0272.2024.3.17>

Citation APA: Кузьменко, В. В., Остапенко, Н. В. (2024) Проєктування ергономічної захисної маски: візуалізація та вибір 3D-сканера й програмного забезпечення. *Art and design*. 3(27). 204–217.