

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**РОМАНЮК СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 615.47: 616–072.7

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ  
ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧ ЛЮДЕЙ ДЛЯ РЕКОНСТРУКТИВНОЇ ТА  
ПЛАСТИЧНОЇ МЕДИЦИНИ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи  
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

\_\_\_\_\_ С. О. Романюк

Науковий керівник Павлов Сергій Володимирович, доктор технічних наук,  
професор

Вінниця - 2019

## АНОТАЦІЯ

*Романюк С. О.* Методи, моделі та система формування тривимірних зображень облич людини для пластичної та реконструктивної медицини. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 «Біологічні та медичні прилади і системи». – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019.

У дисертаційній роботі розвинуто теорію побудови медичних приладів і систем за рахунок розробки методів, моделей та засобів формування тривимірних зображень облич людини для пластичної та реконструктивної медицини.

Проведено аналіз моделей і методів для рендерингу тривимірних зображень облич, а також систем планування пластичних і реконструктивних операцій на обличчі людини. Показано, що використання тривимірних зображень облич людей забезпечить більш високий рівень проведення пластичних і реконструктивних операцій. Якщо тривимірні моделі у системах комп'ютерної графіки використовуються для візуалізації об'єктів і процесів, то у біомедичних системах використовуються для діагностичних цілей. Тому до методів і засобів формування тривимірних зображень облич людей висуваються підвищені вимоги до точності та реалістичності. Час формування таких зображень повинен забезпечити динамічний режим відображення.

Розроблено нову модифікацію дистрибутивної функції Шліка для формування зображень обличчя людини, яка відрізняється від відомої адаптивною зміною степені залежно від коефіцієнта спекулярності, що дозволило підвищити точність відтворення спекулярної складової кольору.

Розроблено нову модифікацію моделі відбивної здатності поверхні на основі ДФВЗ Шліка, у якій введено нормувальні коефіцієнти, що дало можливість більш реалістично відтворити зони блюмінгу відблиску.

Запропоновано нові моделі відбивної здатності поверхонь на основі

косинус-степеневі функції, які на відміну від найпоширенішої моделі Бліна, мають значно меншу степінь, і, як наслідок, меншу обчислювальну складність. При цьому реалістично відтворюється як епіцентр відблиску, так і його блюмінг.

Розроблено фізично-коректні моделі відбивної здатності поверхні, особливість яких полягає у дотриманні закону збереження енергії при формуванні зображень. Це дозволяє підвищити точність і коректність відтворення на обличчі людини спекулярної складової кольору.

Запропоновано метод зафарбовування обличчя людини, особливість якого полягає у адаптивному використанні поліномів другого та третього степенів для визначення інтенсивностей кольору на різних ділянках зображення обличчя, що дозволило підвищити реалістичність формування тривимірного зображення та зменшити кількість складових трикутників полігональної моделі.

Подальшого розвитку отримав метод реконструкції людського обличчя за даними стереопари, у якому на відмінну від існуючого використано аналітичні функції збурення, а для пошуку функцій, що описують об'єкт, використовується зворотній рекурсивний поділ об'єктного простору, що дозволило зменшити об'єму необхідної пам'яті для зберігання геометричної моделі, спростити її масштабування та використати для візуалізації метод трасування променів.

Отримано аналітичні залежності коефіцієнта спекулярності шкіри обличчя людини для різних вікових груп, що дозволило підвищити реалістичність відтворення кольорів і змінювати деталізацію полігональної мережі моделі в проблемних зонах.

Запропоновані нові модифікації моделей Кука-Торенса і Варда, які відрізняються від відомих використанням тільки однієї функції і менших степенів поліномів, що дає можливість підвищити продуктивність формування зображень обличчя людини з урахуванням офсетних властивостей шкіри.

Розглянуто використання графічних зображень для експрес-

діагностування та побудови біомедичних програмних засобів.

Визначено діагностичні ознаки морфологічного аналізу зображень обличчя людини для проведення пластичних і реконструктивних операцій.

Розглянуто використання 3D-зображень для діагностики генетичних захворювань. Розроблено рекомендації по використанню тривимірного моделювання в цій галузі.

Запропоновано використання морфінгу 3D-зображень обличчя людини для задач діагностики.

Запропоновано метод аналізу відповідності вікових змін розвитку дитини встановленим нормам на основі використання морфінгу зображень, що дає можливість підвищити оперативність експрес-діагностування.

Визначено основні вимоги до побудови програмних аналогів біомедичних приладів з використанням 3-D моделей, що є основою для побудови комп'ютеризованих сучасних біомедичних приладів і систем

1. Розроблено програмні засоби для моделювання та тестування розроблених методів зафарбовування тривимірних об'єктів із використанням графічного конвеєра та різних моделей освітлення.

2. Проведено експериментальні дослідження розроблених ДФВЗ, адаптивного методу зафарбовування обличчя людини

Отримані значення нормованих середньоквадратичних похибок показали, що розроблені моделі та методи забезпечують високу якість формування тривимірних зображень обличчя людини.

4. Розроблено структурну схему системи формування тривимірних зображень кінцевої візуалізації для різних застосувань.

5. Розроблено структурну схему системи формування зображень обличчя людини для планування операцій.

6. Розроблено програмні модулі для морфологічного аналізу зображень обличчя людини з метою експрес-діагностування.

Розроблені структурні схеми пристроїв для формування графічних зображень захищено 2 патентами України На алгоритми і програми отримано 6

свідоцтв на реєстрацію авторського права на твір.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано метод зафарбовування обличчя людини, особливість якого полягає у адаптивному використанні поліномів другого та третього степенів для визначення інтенсивностей кольору на різних ділянках зображення обличчя, що дозволило підвищити реалістичність формування тривимірного зображення та зменшити кількість складових трикутників полігональної моделі.

2. Вперше розроблено фізично-коректні моделі відбивної здатності поверхні на основі косинусної моделі, особливість яких полягає у дотриманні закону збереження енергії при формуванні зображень облич, що дозволило підвищити достовірність визначення інтенсивностей кольорів при формуванні зображень облич.

3. Розроблено нові модифікації моделі відбивної здатності поверхні Шліка для формування зображень обличчя людини, які відрізняється від відомої адаптивною зміною степеня функції залежно від коефіцієнта спекулярності та введенням нормувальних коефіцієнтів, що дозволило підвищити точність відтворення спекулярної складової кольору.

4. Подальшого розвитку отримала косинусна модель відбивної здатності поверхні обличчя людини, у якій, на відміну від класичної, використано піднесення дистрибутивної функції до меншого степеня, що дозволило підвищити продуктивність формування зображення обличчя при високій точності відтворення як епіцентра, так і блюмінгу відблиску.

5. Подальшого розвитку отримав метод реконструкції людського обличчя за даними стереопари, у якому, на відміну від існуючого, використано аналітичні функції збурення, а для пошуку функцій, що описують об'єкт, використовується зворотний рекурсивний поділ об'єктного простору, що дозволило зменшити обсяг необхідної пам'яті для зберігання геометричної моделі, спростити її масштабування та використати для візуалізації метод трасування променів.

б. Подальшого розвитку моделі Кука-Торенса і Варда, які відрізняються від відомих використанням при розрахунках тільки однієї функції і менших степенів поліномів, що дає можливість підвищити продуктивність формування зображень обличчя людини з урахуванням офсетних властивостей шкіри.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі проведених теоретичних досліджень і отриманих наукових результатів розроблено комплекс програмних і апаратних засобів для формування тривимірних зображень обличчя людини, зокрема: програмний модуль для тестування розроблених моделей та методів на основі професійного графічного конвеєра `idx3d`; комп'ютерну програму для реконструкції 3D-моделей (посіла 2-е місце на Міжнародному конкурсі «Золотий байт» у 2016 році в номінації програмних проєктів STARTUP CHALLENGE); програму для визначення коефіцієнтів спекулярності обличчя людини; програмний модуль для морфологічного аналізу зображення обличчя та проведення експрес-діагностики; програмний модуль для аналізу тривимірних моделей голови людини; структурні схеми пристроїв для формування кольорів на обличчі людини; структурну схему системи для формування тривимірних зображень обличчя (голови) людини.

Результати досліджень використовуються в науково-дослідному інституті реабілітації осіб з інвалідністю для підвищення ефективності проведення реконструктивних операцій, оптимального підбору імплантатів, проведення експрес-діагностики за морфологічними ознаками обличчя; Українській військово-медичній академії для підвищення ефективності проведення пластичних і реконструктивних операцій; ПМВП «Фотоніка Плюс» для підвищення реалістичності та продуктивності формування тривимірних зображень обличчя людей; у ТОВ «ЗД Дженерейшн Юей» для підвищення реалістичності формування тривимірних зображень обличчя; на кафедрі біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету для використання у навчальному процесі.

**Ключові слова:** 3D-зображення обличчя, пластична та реконструктивна

медицина, відбивна здатність шкіри, морфінг, експрес-діагностування, морфологічний аналіз обличчя, медичні прилади і системи.

## ABSTRACT

*Romanyuk S. O.* Methods, models and system of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine. – Qualification scientific paper as a manuscript.

Thesis for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.11.17 «Biological and medical devices and systems». – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019.

There had also been made the analysis of models and methods for rendering the of three-dimensional face images as well as systematic planning of plastic and reconstructive operations on the human face. It had been shown that the use of the three-dimensional images of people's faces may provide for higher level of plastic and reconstructive operations. If three-dimensional models in the systems for computer graphics are used for the visualization of objects and processes, the biomedical systems are then used with the diagnostic purposes. Therefore the requirements to the accuracy and realism are much more higher to the methods and tools used for the formation of three-dimensional images of people's faces. The time for the formation of such images has to ensure the dynamic mode of the image reflexivity.

There had been developed a new modification of the Bidirectional reflectance distribution function of Schlick for the formation of images of the human face, which differs from the known one by the adaptive change of degree, depending on specular factor, that allowed to increase the accuracy of reflection of specular color component.

There had been developed a new modification of the model of the surface reflective ability on the base of Schlick BRDF level, in which there had been introduced the normalized coefficients aimed at allowing for the large-scale brilliant images to be reproduced realistically.

There had been suggested the new models for surface reflective abilities on the



base of cosine-degree function, which unlike the the most common model of Blin, have significantly lower degree and, as a consequence, less computational complexity. In this case, both, the epicenter of flare as well as its blooming are reproduced most realistically.

There had been developed the physically-correct models of surface reflective capacity, the peculiarity of which is the adhering to the laws of energy efficiency during the formation of the image. This allows to increase accuracy and improve correctness during the reproduction of the specular color component on a person's face.

There had been developed the method for shading human face, the peculiarity of which stipulates for the adaptive use of the polynomials of the second and the third level for the determination of the intensivity of color on the different sections of the surface, and that allowed to improve the productivity of the formation of the three -dimensional image and, as a consequence, provide for the dynamic mode of the reflexivity.

Further development was given to the method of reconstruction of the human face as for the stereo-pair, which, unlike the existing one, uses the analytical functions of excitation, and for searching functions, which describe the object, there shall be used the reverse recursive division of the objective space, which allowed to decrease the volume of the necessary memory for saving the geometric model, simplify its scaling and use for the method of beams transmission for visualization .

There had been received the analytical dependencies of the factor of the specular of human face skin for different age groups that allow to improve the reality of the color and change the detailing of the color of the polygonal model in problematic areas.

There had been suggested the new modification of the Cook-Torrence and Vard models, which difer from the known ones by the use of only one function and a lesser degree of polynomials that allows to increase productivity in the formation of human face images taking into consideration the offset skin peculiarities.

There had been considered the use of the graphic images for the express-

diagnosing and building biomedical software systems.

There had been determined the peculiarities of the morphological analysis of the human face image for conducting plastic and reconstructive operations.

There had been considered the use of 3D images for diagnosing genetic illnesses. There had been made recommendations as for the use of the three-dimensional simulation in this field.

There had been suggested to use the morphing in 3D images of a human face for the task of diagnosis.

There had been suggested the method of analysis for the correspondence to the age changes in the child's development to the set norms on the base of the use of images morphing, that allows to increase the response of the express diagnostics operations.

There had been determined the basic requirements for the built-in software analogues of biomedical devices with the use of 3-D models, which are the basis for the construction of computerised biomedical devices and system

There had been developed the software for modeling and testing of the developed methods of shading the three-dimensional sections with the application of the graphical conveyor and various models of illumination.

1. There had been developed the software for modeling and testing of the developed methods of shading the three-dimensional sections with the application of the graphical conveyor and various models of illumination.

2. There had been conducted the experimental researches of the developed PIFC, adaptive by the method of the protected face of the person.

3. The obtained values of NMSE (normalised Mean Square Error) showed that the developed models and methods allow to make high quality of three-dimensional images of a person's face.

4. There had been developed a block diagram of the systems for formation of three-dimensional images of the final visualization for various applications.

5. There had been developed structural diagram of human systems for planning operations.

6. There have been developed three software modules for morphological examination of the human face with the aim of express diagnostics.

The developed structural diagrams of devices for forming graphic images are protected by 2 patents of Ukraine. There has been received 6 certificates for copyright for algorithms and software

Scientific novelty of the obtained results:

1. There had been developed the method of shading of a person's face, the feature of which is adaptive use of polynomials of the second and third degrees for the determination of intensities of color on different parts of the surface of the face image, which allowed to increase the productivity of the formation of the three-dimensional image and, as a consequence, to provide a dynamic mode of reflection

2. For the first time, there had been developed the physically correct distributive functions of surface reflectivity based on a cosine model, the peculiarity of which is the observance of the law of conservation of energy in the formation of face images, which allowed to increase the accuracy of determining the intensities of colors in the formation of face images.

3. There had been developed the new modifications of the Schlick distribution function for the formation of images of a person's face, which differ from the known one by the adaptive change of the degree depending on the coefficient of specularity and the introduction of normative coefficients, which allowed to increase the accuracy of reproduction of the specular component of color.

4. The further development was given to the cosine model of the reflectivity of the surface of the human face, which, unlike the classical one, used the raising to the lesser power, which allowed to increase the productivity of the formation of the image of the face with high accuracy of reproduction of both, the epicenter and blurring of flare.

5. The further development was given to the method of reconstruction of the human face according to the data of the stereo-pair, in which, unlike in the existing one, there were used the analytical perturbation functions, and the recursive division of the object space was used to search for features describing the object, which

allowed to reduce the volume the memory needed to store the geometric model, simplify its scaling, and use the ray tracing method to render it.

6. There had been suggested the new modifications of the Cook-Torrence and Ward models, which differ from the known ones by using only one function and smaller degrees of polynomials during the calculations, which allows to improve the imaging performance of human faces taking into account the offset properties of the skin.

The practical significance of the obtained results is that on the basis of the theoretical researches and the obtained scientific results the complex of software and hardware for the formation of the three-dimensional images of a person's face had been developed, in particular: a software module for testing the developed models and methods on the basis of a professional graphic conveyor idx3d; a computer program for the reconstruction of the 3D models (ranked the 2nd place in the 2016 Golden Byte International Competition in the STARTUP CHALLENGE nomination for software projects); a program for determining the coefficients of specularity of a person's face; software module for morphological analysis of facial images and rapid diagnostics; software module for the analysis of three-dimensional models of the human head; structural diagrams of devices for color formation on the human face; structural diagram of the system for forming three-dimensional images of human faces (heads).

The research results are used at the Scientific and Research Institute for the Rehabilitation of Persons with Disabilities to improve the efficiency of reconstructive operations, optimal selection of implants, conducting express diagnostics of morphological features of the face; Ukrainian Military Medical Academy to improve the efficiency of plastic and reconstructive operations; PSPE "Photonics Plus" to increase the reality and productivity of the formation of the three-dimensional images of people's faces; at 3D Generation Yue LTD for the increase in the realism of 3D image formation; at the Department of Biomedical Engineering of Vinnitsa National Technical University for the application on the the educational process.

**Keywords:** 3D face images, plastic and reconstructive medical grade, skin reflectance, morphing, express diagnostics, morphological analysis of the face, medical devices and systems.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

- [1] S. O. Romanyuk, “Approximation of bidirectional reflectance distribution function for highly efficient shading”, in Monography *Information Technology in Medical Diagnostics*, W. Wójcik and A. Smolarz, London: England: CRC Press, 2017, chapter 2, pp. 27-49. doi:10.1201/9781315098050.
- [2] S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, O. V. Melnyk, A. Smolarz, and, M Bazarova, “Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model”, *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015. doi: 10.1117/12.2229013.
- [3] S. O. Romanyuk., S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, “New method to control color intensity for antialiasing”, in *International Siberian Conference on Control and Communications SIBCON*, 2015. doi: 10.1109/sibcon.2015.7147194.
- [4] S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, M. Y. Tymkovych, S .P. Moskovko, A. Kotyra, and S. Smailova, “Using a priori data for segmentation anatomical structures of the brain”, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 93, Issue 5, pp. 102-105, 2017. doi: 10.15199/48.2017.05.20.
- [5] S. O. Romanyuk, S. I. Vyatkin, O. N. Romanyuk, and A. Smolarz, “Texturing method of the full pixel dynamic range”, *Proc. SPIE*, Vol. 10808, 2018. doi: 10.1117/12.2500789.
- [6] S. O. Romanyuk, et al., “Using lights in a volume-oriented rendering”, *Proc. SPIE. Vol. 10445*. 2017. doi: 10.1117/12.2280982.
- [7] S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, D.V. Kukharenko, A. Kalizhanova, A.Toygozhinova, and K. Gromaszek, “Computer system for forecasting surgery on the eye muscles”, *Proc. SPIE. Vol. 9816*, 2015. doi: 10.1117/12.2229033.
- Роботи [1]–[7] входять до наукометричної бази Scopus.*
- [8] S. A. Romanyuk, S. I. Vyatkin, and S.V. Pavlov, “3D Face Recognition Using Quadrics”, *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка*, № 1(22), с. 142–145, 2016.
- [9] С. О. Романюк, С. В. Павлов, Д. В. Вовкотруб, та Л. В. Авраменко, “Аналіз

методів попереднього оброблення біомедичних зображень”, *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»* № 2 (21), с. 18–23, 2015.

- [10] С. А. Романюк, С. И. Вяткин, и М. П. Поддубецкая, “Трёхмерная реконструкция человеческого лица по данным стереопары с применением аналитических функций возмущения”, *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»* № 1 (17), с. 53–56, 2013.
- [11] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та Р. Ю. Довгалюк, “Підвищення фізичної коректності дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 4, с. 201–204, 2014.
- [12] С. А. Романюк, С. И. Вяткин, та С. В. Павлов, “Оптимизация методов визуализации объёмных данных для медицинских приложений”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №3, с. 150–152, 2015.
- [13] С. О. Романюк, та О. В. Романюк, “Метод імітації нерівностей на основі збурення дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2, с.129–134, 2014.
- [14] С. А. Романюк, С. И. Вяткин, и С. В. Павлов. “Рейкастинг объёмных данных и функционально заданных поверхностей для медицинских приложений с применением графических ускорителей”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, т. 29(68), № 4, с. 120–126, 2018.
- [15] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та М. Л. Нечипорук, “Адаптивне визначення дифузної та спекулярної складових кольору для рендерингу зображень облич при плануванні пластичних операцій”, *Scientific Journal «Science Rise*, № 8 (49), с. 24–28, 2018.
- [16] С. О. Романюк, О. В. Романюк, та Д. Л. Благодир, “Визначення скалярного

добутку двох векторів, заданих у полярних координатах, для задач комп'ютерної графіки”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2, с.128–131, 2013.

- [17] С. О. Романюк, С. В. Павлов, О. Н. Романюк, та О. В. Мельник, “Модель для відтворення спекулярної складової кольору в засобах комп'ютерної графіки”, *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 3, с. 50–57, 2015.
- [18] С. О. Романюк, С. В. Павлов, и С. И. Вяткин. “Многоуровневая объёмная визуализация для медицинских приложений”, *Наукові праці ДонНТУ. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка*, № 1, с. 55–62, 2018.
- [19] С. О. Романюк, С. В. Павлов та І. В. Абрамчук, “Модель для відтворення спекулярної складової кольору при формуванні високореалістичних біомедичних зображень”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 3, с. 161–167, 2016.
- [20] С. О. Романюк, О. О. Дудник, Л. А. Савицька, та О. В. Романюк, “Анізотропна фільтрація з використанням вагових функцій”, *Вісник Херсонського національного технічного університету*, № 3, с. 459–462, 2015.
- [21] S. A. Romanyuk, S . I. Vyatkin, and Pavlov S. V. “Face identification algorithms and its using”, *Modern engineering and innovative technologies. Technical sciences. International periodic scientific journal*. Part 1. Issue 5. 2018. pp. 111–115.
- [22] С. О. Романюк, та М. Д. Обідник, “Метод розпаралелення рендерингу та засоби для його реалізації”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 3, с. 112–116, 2013.
- [23] С. А. Романюк, С. И. Вяткин, та П. А. Величко, “Метод итерационного приближения полигональных моделей неявными функциями”, *Вісник Хмельницького національного університету*, № 1(209), с. 109–112, 2014.
- [24] С. О. Романюк, О. Н. Романюк, та М. П. Піддубецька, “Аналіз методів анізотропної фільтрації текстур”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2, с. 123–128, 2013.



- [25] С. О. Романюк, “Особливості рендерингу зображення обличчя людини для проведення пластичної операції”, на *XIX Міжнародн. конф. з математичного моделювання*, Херсон, 2018, с. 84–85.
- [26] С. О. Романюк, “Діагностичні ознаки для морфологічного аналізу зображень обличчя людини для проведення пластичних і реконструктивних операцій”, на *Міжнарод. наук.-техн. конф. Комп’ютерна графіка та розпізнавання зображень*, Вінниця, 2018, с. 211–215.
- [27] Романюк С. О. Підвищення реалістичності відтворення зображень людських облич для задач пластичної хірургії, на *Міжнарод. наук.-практ. конференції Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ*, м. Вінниця, 2017, с. 210–213.
- [28] С. О. Романюк, “Основні етапи формування зображення обличчя людини для проведення пластичних операцій”, на *XVIII Міжнарод. конф. з математичного моделювання*, Херсон, 2017, с. 84–85.
- [29] С. О. Романюк, “Комп’ютерна програма для реконструкції 3D-моделей облич людей”, на *Міжнарод. наук.-практ. конференції «Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ»*, м. Вінниця, 2018, с. 227–233.
- [30] С. О. Романюк, та М. Л. Нечипорук, “Фотограмметричні комп’ютерні засоби отримання 3D-моделей зображень облич людини”, на *XI Міжнарод. наук.-практ. конф. Інформаційні технології і автоматизація*, Одеса, 2018, с. 10–13.
- [31] С. А. Романюк, С. И. Вяткин, та С. В. Павлов, “Метод объёмной визуализации для медицинских приложений”, на *наук.-практ. конф. Информатика, математика, автоматика*, Суми, 2016, с. 210–2016.
- [32] С. О. Романюк, Ю. О. Безсмертний, та Г. В. Безсмертна, “Тривимірне моделювання для планування та проведення пластичних операцій на обличчі людини”, на *VII Міжнародн. конф. Моделювання та комп’ютерна графіка*, Покровськ, 2017, с. 193–198.
- [33] С. О. Романюк, О. Н. Романюк, та В. М. Чорний “Використання 3D-

принтерів у медичній практиці”, in *XII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji Naukowa przestrzen Europy-2016*, Przemysł, 2016, pp. 28–33.

- [34] С. О. Романюк, та С. В. Павлов, “Аналіз основних класів алгоритмів рендерингу”, на *Міжнарод. наук.-практ. конф. Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи (МТН-2016)*, 2016, с. 75–77.
- [35] С. О. Романюк, та М. П. Піддубецька, “Модифікація ДФВЗ Шліка”, на *Міжнарод. наук.-практ. конференції Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ*, Вінниця, 2014, с. 3–7.
- [36] С. А. Романюк и, С. И. Вяткин. “Распознавание человеческого лица с использованием трёхмерных слепков на основе скалярных возмущений”, на *Міжнар. наук.-техн. конф. Моделювання та комп’ютерна графіка*, Донецьк, 2013, с. 80–82.
- [37] С. О. Романюк, О. Н. Романюк, та Ю. Л. Ляшенко, “Пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору”, *МПК G06T 15/00*, № 60551, 25.06.2011.
- [38] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та М. П. Піддубецька, “Пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору”, *МПК G06T 15/00*, № 92080, 25.07.2014
- [39] С. О. Романюк, О. В. Даньковська, та О. Н. Романюк, “Комп’ютерна програма для визначення спекулярної складової кольору”, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 51700, *К.: Державний департамент інтелектуальної власності України*, 11.10.13.
- [40] С. О. Романюк, та М. П. Піддубецька, Комп’ютерна програма “Відтворення спекулярної складової кольору”, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 54954, *К.: Державний департамент інтелектуальної власності України*, 23.05.14.
- [41] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та П. О. Величко, Комп’ютерна програма “Розрахунок спекулярної складової кольору з використанням нової моделі освітлення”, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 65282, *К.: Державний департамент інтелектуальної власності України*, 11.05.16.

- [42] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та О. В. Поліщук, Комп'ютерна програма “Рендеринг тривимірних медичних зображень”, Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 65283, К.: *Державний департамент інтелектуальної власності України*, 11.05.16.
- [43] С. О. Романюк, І. В. Богач, та П. О. Величко, Комп'ютерна програма “Розрахунок спекулярної складової кольору для медичних зображень з використанням фізично-коректної дистрибутивної функції відбивної здатності”, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68877, К.: *Державний департамент інтелектуальної власності України*, 05.12.16.
- [44] С. О. Романюк, І. В. Богач, та О. В. Поліщук, Комп'ютерна програма “Зафарбовування поверхонь тривимірних об'єктів у медичних системах візуалізації”, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68878, К.: *Державний департамент інтелектуальної власності України*, 05.12.16.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ ДЛЯ РЕНДЕРИНГУ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧ.....	29
1.1 Тривимірне моделювання для планування та проведення пластичних операцій на обличчі людини.....	29
1.2 Аналіз методів реконструкцій та моделей освітлення для задач візуалізації людських облич.....	36
1.3 Системи планування пластичних і реконструктивних операцій на обличчі людини.....	46
Висновки .....	54
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛІ ВІДБИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧ ЛЮДЕЙ.....	56
2.1. Моделі на основі функції Шліка.....	56
2.2 Високопродуктивні моделі відбивної здатності поверхні.....	61
2.3 Енергетично- коректні моделі відбивної здатності поверхні .....	71
Висновки .....	79
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧЧЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПЛАСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ.....	80
3.1 Визначення параметрів для кінцевої візуалізації зображення шкіри обличчя людини.....	80
3.2 Модифікація методів візуалізації офсетної структури шкіри обличчя.....	87
3.3 Адаптивне визначення дифузної та спекулярної складових кольору для рендерингу зображень облич .....	93
3.4 Метод тривимірної реконструкції обличчя людини .....	99
Висновки.....	104

РОЗДІЛ 4 ВИКОРИСТАННЯ ГРАФІЧНИХ 3D-ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧ ДЛЯ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПОБУДОВИ БІОМЕДИЧНИХ ЗАСОБІВ.....	105
4.1 Діагностичні ознаки морфологічного аналізу зображень обличчя людини для проведення пластичних і реконструктивних операцій.....	105
4.2 Використання 3D-зображень для діагностики генетичних захворювань.....	107
4.3 Діагностичне використання морфінгу 3D-зображень обличчя людини.....	113
4.4 Основні вимоги до побудови програмних аналогів біомедичних приладів з використанням 3-D моделей.....	118
Висновки.....	127
РОЗДІЛ 5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧ ЛЮДЕЙ У БІОМЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ.....	128
5.1. Програмні засоби.....	128
5.2 Апаратні засоби.....	142
5.3 Система формування зображень обличчя людини для планування операцій.....	150
Висновки.....	155
ВИСНОВКИ.....	158
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	161
ДОДАТКИ.....	177
Додаток А Акти впровадження.....	178
Додаток Б Список публікацій за темою дисертації.....	183
Додаток В Лістинги програм.....	189

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Лице людини визначає її привабливість людини та є основним засобом ідентифікації і невербальної комунікації.

Травми обличчя відносяться до найпоширеніших пошкоджень з постійною тенденцією до зростання [1]. Число пошкоджень за останнє десятиліття зросло в 2,4 рази. Це обумовлює зростання ролі пластичної та реконструктивної медицини. За статистикою [2], щорічно в світі проводиться біля 18 млн. пластичних операцій.

Враховуючи збереження динаміки травматизму актуальними є питання покращення діагностування, підвищення ефективності проведення пластичних і реконструктивної операцій. Підвищення рівня проведення та планування реконструктивних і пластичних операцій пов'язують з використанням тривимірного моделюванням [3]-[11].

Тривимірні моделі обличчя людини є найреалістичнішими, відображають анатомічну структуру, точно передають рельєфні та кольорові особливості об'єкта, підлягають модифікації для зміни зовнішності. 3D- модель обличчя є багатофакторним джерелом інформації про пацієнта, дозволяє істотно знизити необхідний обсяг взаємодії з користувачем порівняно з існуючими методами.

Натурне тривимірне моделювання для задач пластичної та реконструктивної медицини є неприйнятним, оскільки отримана модель є суб'єктивною. В цьому випадку доцільно розробка біомедичних засобів, які дозволять розробити реалістичні об'єкти, які є адекватними реальним.

У багатьох випадках пластичні хірурги при плануванні хірургічних втручань покладаються на аналіз фотографій обличчя пацієнта [12], [13]. Такий підхід має суттєві обмеження, обумовлені просторовими спотвореннями, неможливістю відтворити зовнішній вигляд пацієнта після хірургічного втручання. Невідповідність очікуваного розміру або форми може призвести до

повторного хірургічного втручання. За світовою статистикою в 20-40 % випадків пацієнти не задоволені результатами пластичної операції. Цей ризик можна суттєво зменшити за рахунок попередньої розробки 3D-моделі обличчя, яку може оцінити пацієнт до і після операції і висловити свої побажання

Моделювання кінцевого результату пластичної операції до її проведення дасть можливість пацієнту уточнити вимоги по зміні своєї зовнішності, а пластичному хірургу - краще зрозуміти побажання пацієнта. У свою чергу, використання тривимірних зображень обличчя дозволяє хірургу не тільки краще підготуватися до хірургічного втручання, але і зробити його менш інвазивним і небезпечним для пацієнта, а також знизити ймовірність ускладнень.

У медичній практиці тривимірна модель зображення обличчя має характерну відмінність від інших застосувань, оскільки вона є об'єктом дослідження для діагностики [1], [3], [15], [16], а тому повинна бути точною та надавати можливість для отримання різних метрик. У цьому випадку поєднання антропометричних даних з іншими методами досліджень дозволяє в значній мірі уточнити діагноз. Сьогодні на основі аналізу співвідношень різних ділянок обличчя можна діагностувати багато генетичних захворювань.

Важливою задачею є розробка на основі тривимірних моделей обличчя діагностичних ознак для проведення пластичних і реконструктивних операцій. Для цього необхідна розробка засобів для достовірних вимірів криволінійних профілів, необхідних кутів анатомічних елементів, аналізу виділених ділянок обличчя.

При формуванні кольорів для різних ділянок обличчя важливо реалістично відобразити дифузну, спекулярну складові інтенсивності кольору [17]-[20]. При цьому необхідно враховувати залежності коефіцієнтів відбиття від вікових змін людини, офсетну структуру поверхні обличчя. Важливою для планування та проведення пластичних і реконструктивних операцій є розробка фізично-коректних моделей відбивної здатності поверхні, які підвищують достовірність діагностування.

Важливою вимогою до методів формування тривимірних зображень облич людини є висока продуктивність, яка повинна бути достатньою для підтримки динамічного та інтерактивного режимів.

Тому розробка високопродуктивних методів, моделей та засобів для формування тривимірних зображень облич людей для планування та проведення пластичних і реконструктивних операцій є актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Результати досліджень були використані для розробки систем візуального відтворення біомедичних даних при реалізації держбюджетних науково-дослідних робіт: № 30-Д-313 «Створення інформаційних діагностичних технологій для оцінювання стану і визначення індексу здоров'я людини» (номер державної реєстрації 0108U000656); № 26-Д-381 «Система автоматизованої багатофункціональної лазерної поляриметрії плівок плазми крові людини для діагностики паталогічних змін молочних залоз» (номер державної реєстрації 0116U004709), № 30-Д-392 «Аналіз теоретичних засад побудови інтелектуалізовано системи зображувальної поляриметрії біологічних тканин та її базових блоків» (номер державної реєстрації 0118U000207).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності проведення пластичних і реконструктивних операцій за рахунок високореалістичного, високопродуктивного відтворення обличчя людини новими моделями, методами та засобами.

Основними задачами дослідження є:

- провести аналіз існуючих методів і засобів формування тривимірних зображень для задач пластичної та реконструктивної хірургії;
- розробити нові:
- моделі відбивної здатності поверхонь облич, які забезпечують високу реалістичність і продуктивність відтворення кольорів;
  - фізично-коректні дистрибутивні функції відбивної здатності поверхні, особливість яких полягає у дотриманні закону збереження енергії при формуванні зображень:



- методи підвищення продуктивності зафарбовування зображень облич;
- метод реконструкції людського обличчя;
- визначити аналітичні залежності коефіцієнта спекулярності шкіри обличчя людини для різних вікових груп;
- діагностичні ознаки морфологічного аналізу зображень обличчя людини для проведення пластичних і реконструктивних операцій;
- метод морфінгу 3D-зображень обличчя людини для задач діагностики;
- основні вимоги до побудови програмних аналогів біомедичних приладів з використанням 3-D моделей;
- програмні та апаратні засоби для формування зображень облич для задач пластичної та реконструктивної медицини, а також систему на їх основі;
- провести експериментальні дослідження розроблених моделей і методів.

*Об'єкт дослідження* – процес формування тривимірних зображень облич людини у медичних системах.

*Предмет дослідження* – методи та засоби візуалізації тривимірних зображень облич людей.

**Методи дослідження.** У процесі дослідження застосовувалися: теорія чисел та чисельних методів; теорія алгоритмів; теорія інтерполювання функцій; методи аналітичної геометрії, лінійної алгебри, диференціального й інтегрального числення для розробки моделей та методів візуалізації облич; комп'ютерне моделювання для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Вперше запропоновано метод зафарбовування обличчя людини, особливість якого полягає у адаптивному використанні поліномів другого та третього степенів для визначення інтенсивностей кольору на різних ділянках зображення обличчя, що дозволило підвищити реалістичність формування тривимірного зображення та зменшити кількість складових трикутників полігональної моделі.

2. Вперше розроблено фізично-коректні моделі відбивної здатності

поверхні на основі косинусної моделі, особливість яких полягає у дотриманні закону збереження енергії при формуванні зображень облич, що дозволило підвищити достовірність визначення інтенсивностей кольорів при формуванні зображень облич.

3. Розроблено нові модифікації моделі відбивної здатності поверхні Шліка для формування зображень обличчя людини, які відрізняються від відомої адаптивною зміною степеня функції залежно від коефіцієнта спекулярності та введенням нормувальних коефіцієнтів, що дозволило підвищити точність відтворення спекулярної складової кольору.

4. Подальшого розвитку отримала косинусна модель відбивної здатності поверхні обличчя людини, у якій, на відміну від класичної, використано піднесення дистрибутивної функції до меншого степеня, що дозволило підвищити продуктивність формування зображення обличчя при високій точності відтворення як епіцентра, так і блюмінгу відблиску.

5. Подальшого розвитку отримав метод реконструкції людського обличчя за даними стереопари, у якому, на відміну від існуючого, використано аналітичні функції збурення, а для пошуку функцій, що описують об'єкт, використовується зворотний рекурсивний поділ об'єктного простору, що дозволило зменшити обсяг необхідної пам'яті для зберігання геометричної моделі, спростити її масштабування та використати для візуалізації метод трасування променів.

6. Подальшого розвитку моделі Кука-Торенса і Варда, які відрізняються від відомих використанням при розрахунках тільки однієї функції і менших степенів поліномів, що дає можливість підвищити продуктивність формування зображень облич людини з урахуванням офсетних властивостей шкіри.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що на основі проведених теоретичних досліджень і отриманих наукових результатів розроблено комплекс програмних і апаратних засобів для формування тривимірних зображень обличчя людини, зокрема: програмний модуль для тестування розроблених моделей та методів на основі професійного графічного

конвеєра `idx3d`; комп'ютерну програму для реконструкції 3D-моделей (посіла 2-е місце на Міжнародному конкурсі «Золотий байт» у 2016 році в номінації програмних проєктів STARTUP CHALLENGE); програму для визначення коефіцієнтів спекулярності обличчя людини; програмний модуль для морфологічного аналізу зображення обличчя та проведення експрес-діагностики; програмний модуль для аналізу тривимірних моделей голови людини; структурні схеми пристроїв для формування кольорів на обличчі людини; структурну схему системи для формування тривимірних зображень облич (голови) людини.

Впровадження результатів досліджень підтверджується відповідними актами. Результати досліджень використовуються на таких підприємствах і організаціях: науково-дослідний інститут реабілітації осіб з інвалідністю, Українська військово-медична академія, ТОВ «ЗД Дженерейшн Юей»; ПМВП «Фотоніка Плюс», кафедра біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету для використання у навчальному процесі.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати, викладені у дисертаційній роботі, отримані автором особисто.

У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, автору належать такі результати: [3], [53] – моделі відбивної здатності поверхонь; [14] – аналіз методів отримання 3D-моделей; [23] – аналіз наявності аномальних зон; [34] – метод об'ємної візуалізації; [35] – аналіз напрямків використання тривимірного моделювання в медицині; [36] – метод рендерингу з обходом вісімкового дерева; [38] – аналіз технологій 3D-друку для медичних застосувань; [41] – аналіз критеріїв якості медичних зображень; [44], [98] – методи реконструкції; [45] – аналіз методів обходу модельного простору; [46] – формули для опису геометричних об'єктів; [47] – формули для визначення скалярного добутку векторів; [51] – алгоритм визначення координат на поверхні моделі очного яблука; [57] – фізично-коректні моделі; [61] – вирази для визначення інтенсивностей кольору; [68], [69] – методи антиаліаязингу; [76] – співвідношення для незалежного обчислення векторів нормалей у рядку

растеризації; [81] – модифікована модель Шліка; [82] – дистрибутивна функція відбивної здатності поверхні; [83], [132], [134], [135] – алгоритми та програми визначення інтенсивостей кольору; [90] – аналіз методів з використанням субпіксалізації; [91] – формули для накладання текстур; [92] – використання карти висот для анізотропного текстуровання; [94] – метод збурення дистрибутивної функції; [97] – метод розпізнавання; [101] – алгоритм ідентифікації; [104] – метод рейкастингу; [105] – оптимізація методів візуалізації; [107] – формули для розрахунку інтенсивності світла за методом Фонга; [133] – програма для рендерингу зображення; [136] – алгоритм зафарбовування поверхні, [137], [138] – структурні схеми пристроїв.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

II Mezinarodni vedecko-prakticka conference «Perspektivni novinky vedy a technici» (Praha, 2005); III Міжнародна науково-практична конференція «Наука і освіта 2005» (м. Дніпропетровськ, 2005); науково-практична конференція «Сучасні проблеми та шляхи їх вирішення в науці, транспорті, виробництві та освіті» (Одеса, 2005); Міжнародна науково-практична конференція «Прогресивні інформаційні технології в науці, освіті та економіці» (м. Вінниця, 2009); Міжнародна наукова конференція «Наукове літо - 2010» ( м. Київ, 2010); I Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, (м. Донецьк, 2011); Міжнародна науково-практичної Інтернет-конференція «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи»(м. Донецьк, 2013); Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Електронні інформаційні ресурси в освіті і науці: створення, використання, доступ» (м. Вінниця, 2013, 2018); Міжнародна конференція «Моделювання та комп'ютерна графіка» (м. Красноармійськ, 2013, 2015); International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2015(Omsk, 2015); II Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji «Naukowa przestrzen Europy-2016» (Przemys, 2016); Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Молодь в технічних науках: дослідження,

проблеми, перспективи» (м. Вінниця, 2016); Міжнародна науково-технічна конференція «Інформатика, математика» (м. Суми, 2016); VIII, IX Міжнародна конференція з математичного моделювання ( м. Херсон, 2017, 2018); Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень», м. Вінниця, 2018; XI Міжнародна науково-практична конференції «Інформаційні технології і автоматизація» (м. Одеса, 2018).

**Публікації.** Основні результати досліджень опубліковано в 44 наукових працях, у тому числі в закордонній монографії, 6 статтях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, 12 статтях у фахових виданнях України, 2 статтях в періодичних закордонних журналах, 4 статтях в науково-технічних журналах, 12 – у матеріалах конференцій, 2 патентах України, 6 авторських сві-доцтвах про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 138 найменувань і додатків. Основний зміст дисертації викладено на 142 сторінках і містить 7 таблиць і 81 рисунок. Додатки містять акти впровадження результатів роботи, лістинги програм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Д. С. Аветіков, В. М. Соколов, С. О. Ставицький, В. Д. Ахмеров, та О. П. Буханченко. *Пластична та реконструктивна хірургія*. Полтава: ТОВ "АСМИ", 2013.
- [2] ISAPS Global Statistics. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.surgery.org/media/statistics>. Дата звернення: Грудень, 2018.
- [3] S. O. Romanyuk, “Approximation of bidirectional reflectance distribution function for highly efficient shading”, in Monography *Information Technology in Medical Diagnostics*, W. Wójcik and A. Smolarz, London: England: CRC Press, 2017, chapter 2, pp. 27-49. doi:10.1201/9781315098050.
- [4] A. Maier, S. Steidl, V. Christlein, and J. Hornegger. *Medical Imaging Systems*, Erlangen-Nürnberg, Germany: Springer, 2016.
- [5] Н. А., Корниенко, А. А. Корниенко, и Е. В. Чаплыгина. “Актуальные вопросы использования 3D-технологий в медицине”, *Современные проблемы науки и образования*, № 6, с 104-112, 2017.
- [6] І. В. Ільїна, та О. В. Біжко, “Аналіз особливостей візуалізації тривимірних об'єктів”, *Системи управління, навігації та зв'язку*, вип. 2, с. 88-92, 2016.
- [7] А. В. Кузьмин, “Трёхмерное моделирование и визуализация в медицине”, *Вестник Пензенского государственного университета*, № 4 (12), с. 122-127, 2015.
- [8] О. Романюк, та С. В. Павлов, “Використання тривимірної графіки в медицині”, на Міжнарод. наук.-практич. конф. *Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи*, м. Вінниця, 2015, с. 54-56.
- [9] А. О. Аврунин, и Ю. В. Книгавко “Алгоритмы программного рендеринга трехмерной графики для задач медицинской визуализации”, *Технічна електродинаміка*, с. 258-261, 2010.
- [10] А. Ю. Степанов, Д. В. Дягилев, и А. А. Владимиров, “Разработка трехмерной анатомически точной модели человека”, *Наука, техника и*

- образование*, №11, с. 28-32, 2016.
- [11] Н. А. Адамская, Г. Г. Кармазановский, В. А. Князь, и И. А. Косова, “Трёхмерное моделирование поверхности тела для точного планирования реконструктивных операций”, *Медицинская визуализация*, №5, с. 139-143, 2005.
- [12] А. В. Шлянников, “Алгоритм восстановления трёхмерной модели лица по фотографии”, *Компьютерная оптика*, том 34, №2, с. 272-276, 2014.
- [13] С. Г. Небаба, А. А. Захарова, и С. Ю. Андреев. “Алгоритм формирования индивидуальной трёхмерной модели лица человека из растрового изображения лица и набора частных трёхмерных моделей лица”, *Информационное общество*, №5, с. 25-34, 2015.
- [14] С. О. Романюк, та М. Л. Нечипорук, “Фотограмметричні комп’ютерні засоби отримання 3D-моделей зображень обличчя людини”, на XI міжнарод. наук.-практ. конф. *Інформаційні технології і автоматизація*, Одеса, 2018, с. 10-13.
- [15] А. Ю. Авраменко, В. А. Попова, и Е. А. Зрюмов, “Разработка оптико-электронной системы для диагностики состояния здоровья человека по изображению лица”, *Ползуновский альманах*, №21, с. 48-150, 2012.
- [16] “Диагноз путем анализа сканированного изображения лица в формате 3D” , [Электронный ресурс]. Доступно: <https://netrmed.livejournal.com/20106.html>. Дата обращения: Янв. 19, 2017.
- [17] Feng, S.Gilani, Y. Wang, and A. Mian “3D Face Reconstruction from Light Field Images», in *ECCV 2018*, Munich, 2018, pp. 1-8.
- [18] J. Udupa, and G. Herman, *3D Imaging in Medicine*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2010.
- [19] F. Farncombe, and K. Iniewski, *Medical Imaging: Technology and Applications*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2017.
- [20] J. Clement, and M. Marks, *Computer-Graphic Facial Reconstruction*, London, England: Academic Press, 2012.

- [21] Д. А. Шеррис. *Реконструктивная пластическая хирургия лица*. Москва, Россия: МЕДпресс-информ, 2012.
- [22] А. Д. Пейпла. *Пластическая и реконструктивная хирургия лица*. Москва, Россия: БИНОМ, 2007.
- [23] S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, M. Y. Tymkovych, and etc, “Using a priori data for segmentation anatomical structures of the brain”, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 93, Issue 5, pp. 102-105, 2017. doi: 10.15199/48.2017.05.20.
- [24] «Пластичні операції в Україні» [Электронный ресурс]. Доступно: <https://rivnepost.rv.ua/news/shcho-i-navishcho-vipravlyayut-uplastichnikh-khirurhiv>. Дата звернення: Березень 19.2018.
- [25] Ю. В. Книгавко, “Компьютерное планирование пластических вмешательств методом деформации полигональной модели лица человека”, *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, №1/2 (61), с. 11–16, 2016.
- [26] В. Н. Соколов, и Д. С. Аветиков, *Пластическая реконструктивно-восстановительная и косметическая хирургия*. Москва, Россия: Медицинское информационное агенство, 2004.
- [27] “Пластика лица: виды, особенности процедуры”, [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.kp.ru/guide/plastika-litsa.html>. Дата обращения: сент.18, 2017.
- [28] “Виды (классификация) пластических операций на теле”, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://ru-ideal.com/plast>. Дата обращения: Янв. 23, 2017.
- [29] В. М. Соколов, та Д. С. Аветіков, “Комп’ютерне прогнозування і можливості косметичної ринопластики при деформаціях зовнішнього носа”, *Актуальні проблеми сучасної медицини*. т. 2, № 2 (4), с. 71–73, 2002.
- [30] В. А. Цепколенко, В. В. Грубник, и К. П. Пшениснов, *Пластическая эстетическая хирургия*. Київ, Україна: Здоров’я, 2000.



- [31] “Пластическая хирургия сегодня”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://moloda.su/plasticheskaya-hirurgiya.php>. Дата обращения: Дек. 16, 2018.
- [32] “Вторичная ринопластика”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://semeynaya.ru/stati/page/62-poleznoe/1112-vtorichnaya-rinoplastika>. Дата обращения: Янв. 23, 2017.
- [33] С. О. Романюк, “Особенности рендерингу зображення обличчя людини для проведення пластичної операції”, на *XIX Міжнародн. конф. з математичного моделювання*, Херсон, 2018, с. 84-85.
- [34] С. А. Романюк, С. И. Вяткин, та С. В. Павлов, “Метод объемной визуализации для медицинских приложений”, на *наук.-практ. конф. Информатика, математика, автоматика*, Суми, 2016, с. 210-2016.
- [35] С. О. Романюк, Ю. О. Безсмертний, та Г. В. Безсмертна “Тривимірне моделювання для планування та проведення пластичних операцій на обличчі людини”, на *VII Міжнародн конф. Моделювання та комп’ютерна графіка*, Покровськ, 2017, с. 193-198.
- [36] С. О. Романюк, С. В. Павлов, и С. И. Вяткин. “Многоуровневая объемная визуализация для медицинских приложений”, *Наукові праці ДонНТУ. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”* №1, с. 55-62, 2018.
- [37] А. Ф. Лесняков “Возможности применения технологии 3D-сканирования для объемной визуализации в пластической хирургии лиц”, *Вестник Северо-западного государственного медицинского университета*, т. 8. № 1, с.7-12. 2016.
- [38] С. О. Романюк, О. Н. Романюк, та В. М. Чорний “Використання 3D принтерів у медичній практиці”, in *XII Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji Naukowa przestrzen Europy-2016*, Przemyśl, 2016, pp. 28-33.
- [39] H. Chia et al. *3D Printing in Medicine*. Burgligton, USA: Scientific Research Publishing, 2016.

- [40] “Технический директор Google: прогноз до 2099 года”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://mmr.ua/show/tehnicheskij-direktor-google-raspisalbuduschee-mira-prognoz-do-2099-goda>. Дата обращения: Март. 23, 2017.
- [41] С. О. Романюк, С. В. Павлов, Д. В. Вовкотруб, та Л. В. Авраменко, “Аналіз методів попереднього оброблення біомедичних зображень”, *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»* № 2 (21), с. 18-23, 2015.
- [42] С. О. Романюк, “Основні етапи формування зображення обличчя людини для проведення пластичних операцій”, на *XVIII Міжнарод. конф. з математичного моделювання*, Херсон, 2017, с. 84-85.
- [43] И. В. Тупицын “Реконструкция трехмерной модели объекта на основе стереопары при решении задач 3D моделирования”, *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета*, №3, с. 212-216, 2011.
- [44] С. А. Романюк, С. И. Вяткин, и М. П. Поддубецкая, “Трехмерная реконструкция человеческого лица по данным стереопары с применением аналитических функций возмущения”, *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. : Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка*, № 1 (17), с. 53-56, 2013.
- [45] С. О. Романюк, та С. В. Павлов, “Аналіз основних класів алгоритмів рендерингу”, на *Міжнарод. наук.-прак. конф. Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи (МТН-2016)*, 2016, с. 75-77.
- [46] С. А. Романюк, С. И. Вяткин, та П. А. Величко, “Метод итерационного приближения полигональных моделей неявными функциями”, *Вісник Хмельницького національного університету*, №1(209), с. 109-112, 2014.
- [47] С. О. Романюк, О. В. Романюк, та Д. Л. Благодир, “Визначення скалярного добутку двох векторів, заданих у полярних координатах, для задач комп’ютерної графіки”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в*

- технологічних процесах*, №2, с. 128-131, 2013.
- [48] А. В. Дьяченко. “Задача 3D распознавания лиц: современные методы решения”, *Искусственный интеллект*, № 4, с. 166- 171, 2011.
- [49] М. А. Федюков, “Моделирование головы человека по изображениям для систем виртуальной реальности”, *Программные продукты и системы*, № 4, с. 177-179, 2011.
- [50] Д. В. Жук., и А. В. Тузиков, “Реконструкция трехмерной модели по двум цифровым изображениям”, *Информатика*. - 2006. - № 1. - С. 16-26.
- [51] S. O. Romanyuk, O. G. Avrunin, D.V. Kukhareno, and etc., “Computer system for forecasting surgery on the eye muscles”, *Proc. SPIE*. Vol. 9816, 2015. <https://doi.org/10.1117/12.2229033>.
- [52] M. Feng, S. Gilani, Y. Wang, and A. Mian. “3D Face Reconstruction from Light Field Images: A Model-free Approach”, in *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, Munich, 2018, pp. 508-526.
- [53] С. О. Романюк, С. В. Павлов, О. Н. Романюк, та О. В. Мельник, “Модель для відтворення спекулярної складової кольору в засобах комп’ютерної графіки”, *Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія*, №3, с. 50-57, 2015.
- [54] О. Я. Ковальчук, Б. П. Русын, и П. И. Чопык, “Модель отражения света поверхностью для задачи реконструкции формы объекта по полутонам”, *Компьютерная математика*, № 1, с. 17-22, 2012.
- [55] О. Н. Романюк, та А. В. Чорний, *Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об’єктів..* Вінниця, Україна: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006.
- [56] Д. Херн, и М. П. Бейкер, *Компьютерная графика и стандарт OpenGL*, Москва, Россия : Издательский дом «Вильямс», 2007.
- [57] С. О. Романюк, С. В. Павлов та І. В. Абрамчук, “Модель для відтворення спекулярної складової кольору при формуванні високореалістичних біомедичних зображень”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах* №3, с. 161-167, 2016.

- [58] Е. А. Башков, “Методы и алгоритмы реального времени для поиска, генерации, 3-D реконструкции и моделирования изображений сложных объектов”, *Известия ТРТУ*, № 1, с. 70-74, 2005.
- [59] А. А. Зуев “Алгоритм расчета освещения сцен трехмерной графики в реальном масштабе времени”, *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, №9, с. 46-51, 2006.
- [60] В. В. Хлебников, и А. А. Юров, “Моделирование реалистичных изображений объектов, используя различные алгоритмы расчета освещенности”, *Вестник ТГУ*, т.15, вып.2, с. 732-735, 2010.
- [61] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та М. Л. Нечипорук, “Адаптивне визначення дифузної та спекулярної складових кольору для рендерингу зображень облич при плануванні пластичних операцій”, *Scientific Journal «ScienceRise №8 (49)*, с. 24-28, 2018.
- [62] О. Н. Романюк, “Класифікація дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні”, *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка»*, Випуск 9 (132), с. 145-151, 2008.
- [63] T. Akenine-Möller, E. Haines, N. Hoffman, *Real-Time Rendering*, Publisher: A K Peters/CRC Press, 2018.
- [64] Montes Rosana, and Urena Carlos, “An Overview of BRDF Models”, *Report LSI*. 26 p., 2012.
- [65] А. В. Игнатенко, “Использование двухлучевой функции отражательной способности (ДФОС) для моделирования освещения”, *Компьютерная графика и мультимедиа*. Вып. 1(4), 2003. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/45>.
- [66] C. A Schlick, “Fast Alternative to Phong’s Specular Model” , *in Graphics Gems IV. USA:Academic Press*, 1994, pp. 404-409.
- [67] И. В Малащенко и А. А. Моисейкин, “Моделирование свойств поверхности объекта”, *Математическая морфология*. Том 5, Выпуск 4.

- с. 12-29, 2006.
- [68] S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, O. V. Melnyk, A. Smolarz, and, M Bazarova, “Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model”, Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications, 2015. doi: 10.1117/12.2229013.
- [69] S. O. Romanyuk., S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, “New method to control color intensity for antialiasing”, in International Siberian Conference on Control and Communications SIBCON, 2015. doi: 10.1109/sibcon.2015.7147194.
- [70] О. Г. Аврунін, С. Б. Безшапочний, Є .В. Бодянський, В. В. Семенець та, В.О. Філатов, *Інтелектуальні технології моделювання хірургічних втручань*, Харків, Україна: ХНУРЕ, 2018.
- [71] В. М. Дмитриев, Т. В. Ганджа, и С. А. Панов, “Система виртуальных инструментов и приборов для автоматизации учебных и научных экспериментов”, *Программные продукты и системы*, № 3, том 29, с. 154 - 156. 2016.
- [72] С. В Щаденко, А. С. Горбачёва, А. Р. Арсланова и , И.В.Толмачёв, “3D-визуализация для планирования операций и выполнения хирургического вмешательства”, *Бюллетень сибирской медицины*, том 13, № 4, с. 165–171, 2014.
- [73] Ю. В Книгавко, “Метод компьютерного планирования пластических вмешательств на лице человека за счет изменения объемных томографических данных”, *Радиотехника*, № 168, с. 87-92, 2012.
- [74] Д. М. Жук, и С. А. Перфильев “САС системы - системы автоматизированного проектирования в хирургии”, *Наука и образование*, № 3, с. 1-12, 2011.
- [75] К. С. Солнушкин, “О значении терминов "производительность" и "быстродействие" в применении к ЭВМ”, *Научно-технические ведомости СПбГПУ*, №3, 2008, 59 с.
- [76] С. О. Романюк, та М. Д. Обідник, “Метод розпаралелення рендерингу

- та засоби для його реалізації”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 3, с. 112–116, 2013.
- [77] “The Blinn-Phong Normalization”, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.thetenthplanet.de/archives/255>. Дата звернення: Март, 11, 2017.
- [78] Lafortune and Willems, “Using the modified Phong reflectance model for physically based rendering”, Technical Report, <http://graphics.cs.kuleuven.be/publications/Phong/>
- [79] Y. Gotanda, A. Martinez, and B. Snow, “Physically-Based Shading Models in Film and Game Production”, in *SIGGRAPH 2010*, Northeastern, pp. 1-50.
- [80] M. Pharr, W. Jakob, and G. Humphreys, *Physically Based Rendering*, Burlington, USA: Morgan Kaufmann, 2017.
- [81] С. О. Романюк, та М. П. Піддубецька, “Модифікація ДФВЗ Шліка”, на *Міжнарод. наук.-практ. конференції Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ*, Вінниця, 2014, с. 3-7.
- [82] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та Р. Ю. Довгалюк, “Підвищення фізичної коректності дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №4, с. 201-204, 2014.
- [83] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та П. О. Величко, Комп’ютерна програма “Розрахунок спекулярної складової кольору з використанням нової моделі освітлення”, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 65282, К.: Державний департамент інтелектуальної власності України, 11.05.16.
- [84] A. A. Krishnaswamy, and G. Baranoski, “Biophysically-based Spectral Model of Light Interaction with Human Skin”, *Computer Graphics Forum*. Volume 23, № 3, - p. 331-340, 2004.
- [85] Г. Тимофеев, “Диагностика старения кожи”, *Kosmetik international*. №1, с. 6-14, 2008.
- [86] D. Luebke. “Advanced Techniques for Realistic Real-Time Skin Rendering”, *GPU Gems 3. Chapter 14*. [online]/ Available:

[https://developer.nvidia.com/gpugems/GPUGems3/gpugems3\\_ch14.html](https://developer.nvidia.com/gpugems/GPUGems3/gpugems3_ch14.html),

Accessed on: May 16, 2017.

- [87] В. В. Барун, “Рассеяние света шероховатой поверхностью кожи человека”, *Квантовая электроника*. №10, с. 979-987, 2013.
- [88] E. Parakonstantinou, M. Roth, G. Karakiulakis “Hyaluronic acid. A key molecule in skin aging”, *Dermato-Endocrinology*, Vol. 4, №3, pp. 253–258, 2012.
- [89] M. Longas, C. Russell, and X. He, “Evidence for structural changes in dermatan sulfate and hyaluronic acid with aging”, *Carbohydrate Research*, Volume 159, Issue 1, pp. 127-136, 1987.
- [90] С. О. Романюк, О. Н. Романюк, та М. П. Піддубецька, “Аналіз методів анізотропної фільтрації текстур», *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №2, с.123-128, 2013.
- [91] S. O. Romanyuk, S. I. Vyatkin, O. N. Romanyuk, and A. Smolarz, “Texturing method of the full pixel dynamic range”, *Proc. SPIE*, Vol. 10808, 2018. doi: 10.1117/12.2500789.
- [92] С. О. Романюк, О. О. Дудник, Л. А. Савицька, та О. В. Романюк, “Анізотропна фільтрація з використанням вагових функцій», *Вісник Херсонського національного технічного університету*, № 3, с. 459-462, 2015.
- [93] С. И. Вяткин, С. А. Романюк, и С. О. Крищук, “Метод вычисления текстурных координат для отображения текстуры на плоские полигоны”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 1, с. 144-148, 2012.
- [94] С. О. Романюк, та О. В. Романюк, “Метод імітації нерівностей на основі збурення дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №2, с. 129-134, 2014.
- [95] В. В. Парубец, А. С. Огородников, и О. Г. Берестнева, “Методы оптимизации расчёта освещения для интерактивных приложений”,

*Известия Томского политехнического университета*, № 5, с. 140-144, 2010.

- [96] О. Н. Романюк, “Використання квадратичної інтерполяції для зафарбовування тривимірних графічних об’єктів”, *Реєстрація, зберігання і обробка даних*, Т. 8, № 4, с. 31–37, 2006.
- [97] С. А. Романюк и, С. И. Вяткин. “Распознавание человеческого лица с использованием трехмерных слепков на основе скалярных возмущения”, на *Міжнар. наук.-техн. конф. Моделювання та комп’ютерна графіка*, Донецьк, 2013, с. 80–82.
- [98] S. A. Romanyuk, S. I. Vyatkin, and S.V. Pavlov, “3D Face Recognition Using Quadrics”, *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка*, №1(22), с. 142-145, 2016.
- [99] M. J. Hannah, “Digital stereo image matching techniques”, *Int Arch Photogrammetry Remote Sensing*, 27(III), pp. 280-293. 1998.
- [100] Н. Nishihara, Т. Poggio Stereo vision for robotics, *International Journal of Computer Applications*, № 4, pp. 33-39, 2012.
- [101] S. A. Romanyuk, S. I. Vyatkin, and Pavlov S. V. “Face identification algorithms and its using, Modern engineering and innovative technologies”. *Technical sciences. International periodic scientific journal*. Part 1. Issue 5. 2018. pp. 111-115.
- [102] Н. Э. Посвалюк, Н. Э. Косых, П. И. Барабаш и С. З. Савин, “Метод компьютерной автоматизированной диагностики в задачах распознавания медицинских изображений”, *Современные проблемы науки и образования*, № 4, с. 123- 127, 2014.
- [103] С. О. Романюк, “Комп’ютерна програма для реконструкції 3D-моделей облич людей», на *Міжнарод. наук.- практ. конференції «Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ»*, м. Вінниця,



- 2018, с. 227-233.
- [104]С. А. Романюк, С. И. Вяткин, и С. В. Павлов, “Рейкастинг объемных данных и функционально заданных поверхностей для медицинских приложений с применением графических ускорителей”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, т. 29(68), № 4, с. 120-126, 2018.
- [105]С. А. Романюк, С. И. Вяткин, та С. В. Павлов, “Оптимизация методов визуализации объемных данных для медицинских приложений”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, №3, с.150-152, 2015.
- [106]С. О. Романюк, та О. М. Мельников, “Алгоритм триангуляції полігону”, на *Міжнарод. наук.-практ. конф. Прогресивні інформаційні технології в науці, освіті та економіці*, м. Вінниця, 2009, с. 135-144.
- [107]S. O. Romanyuk, et al., “Using lights in a volume-oriented rendering”, *Proc. SPIE*. Vol. 10445. 2017. doi: 10.1117/12.2280982.
- [108] A. Erian and M, *Shiffman Advanced Surgical Facial Rejuvenation*, Berlin, Deutschland: Springer, 2012.
- [109]“Анализ пропорций лица как обязательный компонент ринопластики” [Электронный ресурс].  
Доступно: <https://estet-portal.com/doctor/statyi/analiz-proporsij-litsa-kak-obyazatelnyj-komponent-rinoplastiki>. Дата обращения: Сент. 2018.
- [110]J. Milutinovic, K. Zelic, and N. “Nedeljkovic Evaluation of Facial Beauty Using Anthropometric Proportions”, *The Scientific World Journal*, №2, 2014, pp. 106-113.
- [111]Л. Н. Щеголева, “Методы и модели представления изображений лиц как объектов наблюдения”, дис..доктор. техн. наук, Санкт-Петербургский гос. электротехнический ун-т, 2017.
- [112]Н. Г Халилова, О. К Зенин., Ю. Н. Вовк, и И. О. Генбач,

- “Количественные параметры фронтальной нормы лица девушек украинок”, *Український морфологічний альманах*, Том 9, с. 74-76, 2011.
- [113] В. Бини, “Эстетический анализ челюстно-лицевой области с использованием 3D- технологий”, *Современная ортодонтия*, №01(35), с. 26-28, 2014.
- [114] “Эстетическая оценка лица”, [Электронный ресурс]. Доступно: <http://amoriya.ru/plasticheskaja-hirurgija/estetic-face/>. Дата обращения: Сент. , 2017.
- [115] В. Бюкинг, “Анализ профиля лица” [Электронный ресурс]. Доступно: <http://dentaltechnic.info/index.php/obshie-voprosy/> Дата обращения: Янв., 2017.
- [116] С. О. Романюк, “Діагностичні ознаки для морфологічного аналізу зображень обличчя людини для проведення пластичних і реконструктивних операцій“, на *Міжнарод. наук.-техн. конф. «Комп’ютерна графіка та розпізнавання зображень»*, Вінниця, 2018, с. 211-215.
- [117] “Эстетический анализ пропорций наружного носа”, [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.gavrilenko.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=138&Itemid=123](http://www.gavrilenko.net/index.php?option=com_content&view=article&id=138&Itemid=123). Дата обращения: Июнь,14, 2017.
- [118] Романюк С. О. Підвищення реалістичності відтворення зображень людських облич для задач пластичної хірургії , на *Міжнарод. наук.-практ. конференції «Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ»*, м. Вінниця, 2017, с. 210-213.
- [119] M. Kesterke, Z. Raffensperger, C. Heike, et al., “Using the 3D Facial Norms Database to investigate craniofacial sexual dimorphism in healthy children, adolescents, and adults”, *PMС Journals*, 2016, № 7, pp. 2-23.
- [120] Е. Н. Суспицын и др. *Генетические заболевания*. Санкт- Петербург,

Россия: СПбМАПО, 2015.

- [121] J. Cole, M. Manyama, J. Larson, D. Liberton, T. Ferrara, et al., “Human Facial Shape and Size Heritability and Genetic Correlations”, *Genetics*, Volume 2, Issue 2, pp. 967-978.
- [122] 3D Face Scan for Diagnosis of Genetic Syndromes.[Online]. Available: [https://www.medgadget.com/2007/09/3d\\_face\\_scan\\_for\\_diagnosis\\_of\\_genetic\\_syndromes.html](https://www.medgadget.com/2007/09/3d_face_scan_for_diagnosis_of_genetic_syndromes.html). Accessed on: May 16, 2017.
- [123] M. Rai, N. Werghi, and H. Muhairi, “Using facial images for the diagnosis of genetic syndromes” [online]. Available: [https://developer.nvidia.com/gpugems/GPUGems3/gpugems3\\_ch14.html](https://developer.nvidia.com/gpugems/GPUGems3/gpugems3_ch14.html). Accessed on: May 16, 2017.
- [124] Н. Маркина, “О генетике формы носа и других черт лица”, [Электронный ресурс]. Доступно: [http://генофонд.рф/?page\\_id=8496&get\\_pdf=1](http://генофонд.рф/?page_id=8496&get_pdf=1), Дата обращения: Август 20, 2017.
- [125] K. Adhikari, et al., “A genome-wide association scan implicates DCHS2, RUNX2, GLI3, PAX1 and EDAR in human facial variation”, *Nature Communications*, pp. 124-139, 2016.
- [126] Д. А. Дивеев, и Е. Г. Хозе, “Современные технологии трансформации изображений в изучении восприятия человека по выражению его лица”, *Экспериментальная психология*, том 2, № 4, с. 101–110, 2009.
- [127] “Размер головы и возраст ребенка: нормы” [Электронный ресурс]. Доступно: <https://nashidetki.net/vospitanie-detej/razmer-golovy-rebenka-ro-vozhrastu.html>. Дата обращения: Янв. 09, 2017.
- [128] Антропологические инструменты [Электронный ресурс]. Доступно: <http://antropolog-instrument.ru/?an=catalog>. Дата обращения: Май, 09, 2017.
- [129] А. С. Щербаков, Е. И. Гаврилов, в. Н. Трезубов, и Е. Н. Жулев

Ортопедическая стоматология, Москва, Россия: Медицина, 2014.

- [130] О. Ю. Алешкина, “Базикраниальная типология конструкции черепа человека”, дис. докт. мед. наук, Саратов, Саратовский гос. мед. университет, 2007.
- [131] Ю. Н. Вовк, О. Ю. Вовк, В. Б. Икрамов, А. А. Шмаргалев, С. С. Малахов “Практическое значение индивидуальной анатомической изменчивости для современной краниологии”, Клінічна анатомія та оперативна хірургія, Т. 15, № 1, с. 105-109, 2016.
- [132] С. О. Романюк, О. В. Даньковська, та О. Н. Романюк, «Комп’ютерна програма для визначення спекулярної складової кольору », Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 51700, К.: Державний департамент інтелектуальної власності України, 11.10.13.
- [133] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та О. В. Поліщук, Комп’ютерна програма «Рендеринг тривимірних медичних зображень», Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 65283, К.: Державний департамент інтелектуальної власності України, 11.05.16.
- [134] С. О. Романюк, І. В. Богач, та П.О. Величко, Комп’ютерна програма «Розрахунок спекулярної складової кольору для медичних зображень з використанням фізично-коректної дистрибутивної функції відбивної здатності», Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68877, К.: Державний департамент інтелектуальної власності України, 05.12.16.
- [135] С. О. Романюк, та М. П. Піддубецька Комп’ютерна програма «Відтворення спекулярної складової кольору», Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 54954, К.: Державний департамент інтелектуальної власності України, 23.05.14.
- [136] С. О. Романюк, І. В. Богач, та О. В. Поліщук, Комп’ютерна програма «Зафарбовування поверхонь тривимірних об’єктів у медичних

системах візуалізації», Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68878, К.: Державний департамент інтелектуальної власності України, 05.12.16.

- [137] С. О. Романюк, С. В. Павлов, та М. П. Піддубецька, “Пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору”, МПК G06T 15/00, № 92080, 25.07.2014.
- [138] С. О. Романюк, О. Н. Романюк, та Ю. Л. Ляшенко, “Пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору”, МПК G06T 15/00, № 60551, 25.06.2011.

