

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Електронної та біомедичної інженерії _____
(повна назва)

Кафедра _____ Біомедичної інженерії _____
(повна назва)

АНОТАЦІЯ кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

_____ Методи томографічної реконструкції _____
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи БМІім-20-1 _____

_____ Куанго Амелія Яра _____
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 163 Біомедична інженерія _____

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ «Біомедична інженерія» _____

(повна назва освітньої програми)

Керівник _____ д.т.н. проф. Семенець В.В. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри БМІ _____
(підпис)

_____ Аврунін О.Г. _____
(прізвище, ініціали)

2021 р.

ВСТУП

У сучасній освіті все більше застосовуються дистанційні підходи навчання [1, 2]. Це можуть бути програмні засоби [3-5], апаратні системи з дистанційним управлінням [6, 7], методи з використанням відео з ефектом присутності [8-10] та 3D стереоконтенту [11, 12]. У біомедичній інженерії такі підходи теж дуже актуальні [3, 4, 10]. Можливості ранньої діагностики і, отже, лікування хвороб останніми роками сильно розширилися саме за рахунок використання біоінженерних підходів [13, 14]. Значною мірою це пов'язано з розвитком променевих методів дослідження, які забезпечують візуалізацію нормальних і патологічно змінених органів і тканин – методів медичної інтроскопії [15-24]. Розвиваються методи реконструктивної медицини [25-29] та інтервенційної радіології [30, 31] і системи медичної навігації [32, 33]. Актуально використання методів обробки та сегментації медичних зображень [34, 35] при застосуваннях у функціональній пластичній хірургії [36, 37] та реабілітації [38].

У другій половині ХХ століття виникло і швидко розвивається, проникаючи у різні галузі людського знання, новий напрямок у науці – реконструктивна обчислювальна (комп'ютерна) томографія [3-5, 39, 40]. Метод обчислювальної (комп'ютерної) томографії дозволяє за характеристиками пропущеного через досліджуваний об'єкт (трансмісійна томографія) або його власного (емісійна томографія) випромінювання судити про внутрішній устрій, фізичний стан або хімічний склад цього об'єкта. Основи цього методу закладено у роботах Радона (1917 р), Кормака (1963 р), Хаунсфілда (1972 р).

В даний час у клінічній практиці для обстеження пацієнтів застосовується широкий спектр різноманітної інтраскопічної техніки. Ця апаратура заснована на новітніх досягненнях радіоелектронних та інформаційних технологій, є надзвичайно дорогою і, як наслідок, недоступною для детального вивчення та виконання навчально-практичних завдань. Водночас підготовка кваліфікованих

спеціалістів для медичного приладобудування потребує детального вивчення принципів роботи сучасної інтраскопічної техніки. Актуальність розробки сучасних електронних навчальних матеріалів [41, 42], відеотехнологій для дистанційного навчання [43-45], а також фантомного моделювання [46] не викликає сумнівів та наведена у джерелах [3-12, 41-46]. Тому доцільним є створення віртуальних інтраскопічних систем щодо імітаційного моделювання, що дозволяє вивчення фізичних основ функціонування реальних устроїв. Віртуальною системою при цьому є програмний продукт, що дозволяє досліджувати процеси, які у реальній системі.

У кваліфікаційній роботі розглядається опанування методами томографічної реконструкції для розробки віртуальної комп'ютерного середовища для навчання медичних фахівців та біомедичних інженерів.

Томографічне зображення має найважливішу відмінність, що визначає його значення для медичної діагностики: воно не містить тіней, що заважають, на відміну від звичайного тіньового. Накладення тінів від різних органів на звичайних рентгенівських зображеннях погіршує загальну контрастність та суб'єктивне сприйняття деталей малих об'єктів у кілька разів. Можливості математичної реконструкції та обробки даних дозволяють суттєво підвищити якість медичного зображення

У роботі проведено аналіз та розробка методів реконструкції томографічних об'єктів та сучасного програмного забезпечення для відображення томографічних даних. Робота складається з трьох розділів.

У першому розділі роботи розглядаються принципи реконструктивної томографії. У другому розділі розглядається розробка структурної схеми модулю томографічної реконструкції. У третьому розділі розглядаються алгоритми томографічної реконструкції та принципи обробки отриманих зображень.

Результати роботи можуть бути використані у закладах вищої освіти біомедичного та медичного профілю для моделювання процесів томографічної реконструкції.

ЗМІСТ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Мета роботи – розробити методи томографічної реконструкції.

Об'єкт дослідження – процес томографічної реконструкції.

Предмет дослідження – методи реконструктивної томографії.

Для вирішення поставленої мети були виконані наступні завдання:

- провести огляд апаратури та методів томографічної реконструкції;
- розробити структурну схему модуля томографічної реконструкції;
- розробити алгоритм томографічної реконструкції;
- провести аналіз отриманих результатів для визначення особливостей схем сканування.

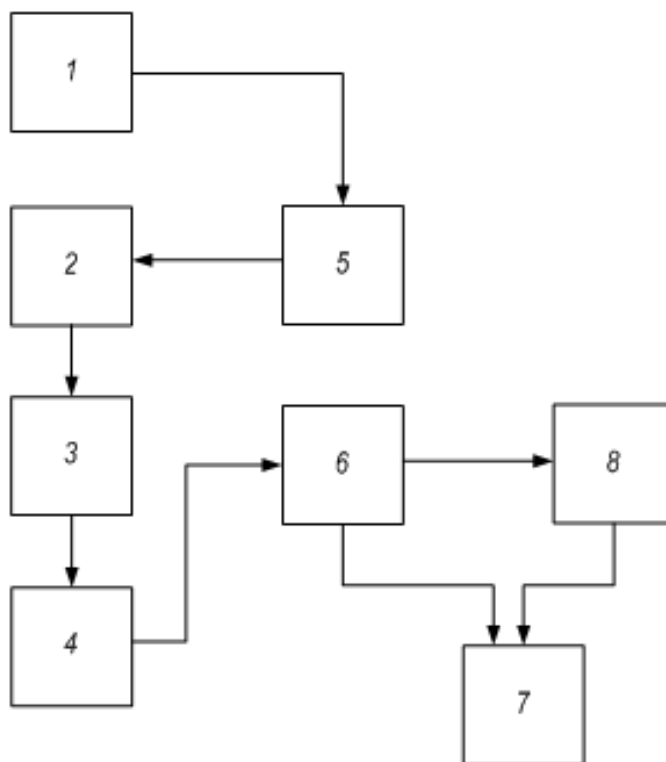
Магістерська кваліфікаційна робота містить три розділа.

У першому розділі роботи розглядаються принципи реконструктивної томографії. Обґрунтування розробки полягає у створенні навчальної системи, що показує принципи роботи томографічної реконструкції. Наведені підходи отримання томографічного зображення та схеми розташування джерела випромінювання та матриці детекторів – при використанні принципу рентгенівської комп'ютерної томографії. Показано, що саме за рахунок використання методів реконструкції досягається пошарове відображення об'єктів на томографах [3-5].

У другому розділі розглядається розробка структурної схеми модулю томографічної реконструкції, який зображений на рисунку 1. До складу модуля реконструкції входять каталог фантомів, блоки завдання режимів сканування та формування променевих сум, а також блоки реконструкції, післяобробки та візуалізації. Також наведені системи сканування в томографах різних поколінь, які принципово відрізняються створенням лінійного чи в'ялового пучка випромінювання і розташуванням детекторів.

У третьому розділі розглядаються алгоритми томографічної реконструкції та принципи обробки отриманих зображень. Узагальнений алгоритм томографічної реконструкції полягає у введенні тестового зображення,

вибору типу реконструкції, завдання параметрів сканування – кількості та відстані між детекторами, реконструкції, постобробки та візуалізації отриманого зображення.



- 1 – каталог фантомів;
- 2 – моделювання типу системи сканування;
- 3 – блок формування променевих сум;
- 4 – формування масиву вимірювань;
- 5 – область робочих координат;
- 6 – блок реконструкції зображень;
- 7 – блок візуалізації;
- 8 – блок додаткової обробки.

Рисунок 1 – Структурна схема модуля томографічної реконструкції

Реалізація моделювання реконструкції томографічних зображень методом зворотної проєкції при типі веерного томографічного сканування третього покоління на прикладі плоскої геометричної фігури круглої форми з внутрішнім отвором наведена на рисунку 2. Можна бачити зниження контрастності вихідного реконструйованого зображення (рис. 2, б) у порівнянні з вхідним зображенням (рис. 2, а).

Також в розділі наведені можливості різних типів сканування та реконструкцій та відповідні ілюстрації на приклади різних фантомних зображень. Досліджувалося також розташування досліджуваного об'єкту, у центрі, на периферії робочій області, контрастність та деталізація при візуалізації після реконструкції.

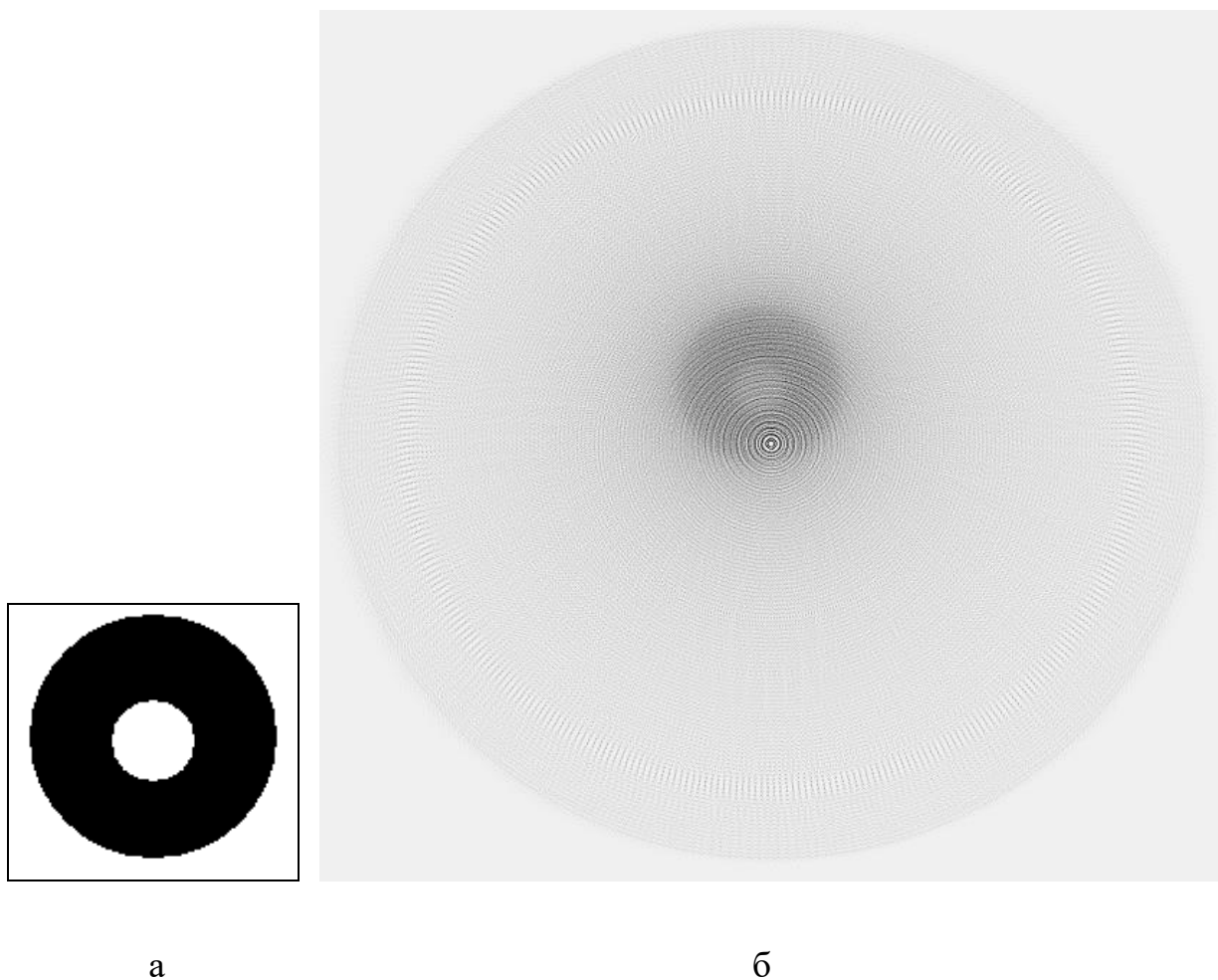


Рисунок 2. Реалізація моделювання реконструкції томографічних зображень на прикладі плоскої геометричної фігури круглої форми з внутрішнім отвором:

а – вхідне зображення; б – реконструйоване зображення

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено аналіз процесів збору даних у томографах різних поколінь, а також методів отримання даних у реконструктивній томографії. Розглянуто спеціальні методи реконструкції томографічних зображень – аналітичні та ітераційні.

Створено віртуальну інтраскопічну систему для проведення імітаційного моделювання, що дозволяє вивчити фізичні основи функціонування реальних пристроїв.

Програмний засіб імітує отримання масиву променевих сум шляхом зворотної проекції.

Показано доцільність усунення основного недоліку методу – використання алгоритму низькочастотної фільтрації, що призводить до розмиття зображення невеликих об'єктів (шумів), та порогової фільтрації, яка дозволяє коректно розділити контури об'єктів на зображення та фон.

Розроблений засіб дозволяє вивчати принципи сканування та формування променевих сум для томографів різних поколінь з урахуванням параметрів, що визначають точність реконструкції об'єкта дослідження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

РЕКОНСТРУКЦІЯ, ТОМОГРАФІЯ, ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ, ФІЛЬТРАЦІЯ,
СКАНУВАННЯ ТОМОГРАФІЧНЕ, ПРОЕКТУВАННЯ

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Семенець В., Каук В., Аврунін О. Впровадження технологій дистанційного навчання у навчальний процес. Вища школа. № 5. 2009. С.40-57.
2. Тимкович М. Ю. Носова Я. В., Аврунін О. Г., Тимкович М. Ю. Можливості відеотехнологій для дистанційної освіти. Інформатика, управління та штучний інтелект : тези восьмої міжнародної науковотехнічної конференції. Харків: НТУ "ХПІ". 2021. С. 130.
3. Avrunin, L. Aver'yanova, V. Golovenko, O. Sklyar E-Learning of Functioning Principles Medical Intrascopy Systems//2-th International Conference “Modern (e-) Learning”, July, 2007, Varna, Bulgaria, ITHEA SOFIA, -P.134-137.
4. Аврунин О.Г., Аверьянова Л.А., Бых А.И., Головенко В.М., Скляр О.И. Методика создания виртуальных средств имитации работы рентгеновского компьютерного томографа // Техническая электродинамика. Тем. Вып. – Киев, 2007. – Т. 5, С.105-110.
5. The experience software-based design of virtual medical intrascopy systems for simulation study International Journal / O. Avrunin, L. Aver'yanova, V. Golovenko, O. Sklyar // Information Technologies and Knowledge. – 2008. – Vol. 2. – P. 470–474.
6. Avrunin O. G. Experience of Developing a Laboratory Base for the Study of Modern Microprocessor Systems / O. G. Avrunin, T. V. Nosova, V. V. Semenets. // Proceedings of I International Scientific and Practical Conference “Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs” MC&FPGA-2019, Kharkiv, Ukraine. – 2019. – P. 6–8.
7. Avrunin O., Sakalo S., Semenets V., Development of up-to-date laboratory base for microprocessor systems investigation, 2009 19th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology, Sevastopol, 2009, pp. 301-302.
8. Avrunin O., Nosova Ya., Khudaieva S. Features of creation technologies for educational panoramic video content // Modern approaches to the introduction of

science into practice: Abstracts of X International Scientific and Practical Conference. San Francisco, USA 2020. Pp.256–259.

9. Повышение образовательного потенциала обучающих материалов при использовании видео с эффектом присутствия / О.Г. Аврунин, В.В. Семенец, Я.В. Носова, С.А. Худаева // Матеріали Х міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції "Сучасний рух науки". Дніпро, 2020. Т.1. С. 8–13.

10. Аврунин О. Г. Создание виртуальной обучающей среды для решения ситуационных задач в медицине / О. Г. Аврунин, В. В. Россихин, Я. В. Носова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2020, 28-30 жовтня 2020 р.: у 5 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП». – С. 356.

11. Аврунін О. Г. Можливості використання технологій 3d-відео при дистанційній освіті / О. Г. Аврунін, Я. В. Носова, О. Ю. Прісич. Авіація, промисловість, суспільство: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф., м. Кременчук. Харків: ХНУВС, 2021. – Ч1. – С. 159-16.

12. Аврунін О.Г., Грохова Г.П., Прісич О.Ю. та ін. Можливості 3D-контенту при фізичній реабілітації в дистанційному режимі Реабілітація та протезування/ортезування XXI століття. Проблематика, перспективи та міжнародні стандарти відновлення рухової активності : Матеріали науково-практ. конф. з міжнародною участю. Харків: УкрНДПротезування, 2021. С. 143-145.

13. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Abdelhamid, I.Y.; Pavlov, S.V.; Shushliapina, N.O.; Bouhlal, N.A.; Ormanbekova, A.; Iskakova, A.; Harasim, D. Research Active Posterior Rhinomanometry Tomography Method for Nasal Breathing Determining Violations. Sensors 2021, 21, 8508. <https://doi.org/10.3390/s21248508>.

14. Аврунин О.Г. Обоснование основных медико-технических требований для проектирования многофункционального риноманометра / О.Г. Аврунин, А.И. Бых, В.В. Семенец. // Функциональная компонентная база

микро-, оптои наноэлектроники: сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., 28 сент. – 2 окт. 2010 г. – Х.; Казивели: ХНУРЭ, 2010. – С. 280–281.

15. O. Avrunin, M. Tymkovych, V. Semenets and V. Piatykor, "Computed tomography dataset analysis for stereotaxic neurosurgery navigation," 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL), Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 606-609, doi: 10.1109/CAOL46282.2019.9019459.

16. Shin H., Falck C., Galanski M. Low-contrast detectability in volume rendering: a phantom study on multidetector-row spiral CT data // Eur Radiol.- 2004.- Т. 14.- № 2.- Т. 341-349.

17. Ertl-Wagner B. Diagnostic evaluation of the craniocervical vascular system with a 16-slice multi-detector row spiral CT. Protocols and first experiences / B. Ertl-Wagner, R. Hoffmann, R. Bruning // Radiologe.– 2002.– Vol. 42.– № 9.– P. 728-732.

18. Аврунин О.Г. Методы визуализации внутримозговых структур на современном этапе / О. Г. Аврунин, В. В. Семенец, А. Б. Щербакова. // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 4(9) – С. 107-108.

19. Тымкович М.Ю. Использование DICOM-изображений в медицинских системах / М.Ю. Тымкович, О.Г. Аврунин, В.В. Семенец // Техн. электродинамика: Тематич. вып. – 2012. – Т.4. – С. 178-183.

20. Аврунин О. Г. Опыт разработки программного обеспечения для визуализации томографических данных / О. Г. Аврунин // Вісник НТУ «ХПІ». – 2006. – № 23. – С. 3 – 8.

21. Книгавко, Ю.В. Программная визуализация объемных медицинских данных / Ю.В. Книгавко, О.Г. Аврунин // Журн. Техн. електродинаміка – 2011. – С. 301-308.

22. Avrunin OG Visualization of the ventrolateral nucleus of the thalamus of the human brain / O.G. Avrunin, V.V. Semenets, S.Yu. Maslovsky // Radioelectronics and Informatics. - С. 132-134

23. Аврунин О. Г. Визуализация данных контрастной компьютерной томографии / О. Г. Аврунин, Т. А. Карпенко // Прикладная радиоэлектроника. – 2007. – № 1. – С. 56-61.

24. Avrunin, O. G., Nosova, Y. V., Abdelhamid, I. Y., Pavlov, S. V., Shushliapina, N. O., Wójcik, W., . . . Kalizhanova, A. (2021). Possibilities of automated diagnostics of odontogenic sinusitis according to the computer tomography data. *Sensors (Switzerland)*, 21(4), 1-22. doi:10.3390/s21041198.

25. Сипитый В.И., Бабалян Ю.А., Аврунин О.Г. Особенности применения методик 2D и 3D компьютерной томографии при моделировании имплантатов для краниопластики фронтоорбитальных костных дефектов. *Медицина сегодня и завтра*. 2007. № 4. С. 60–63.

26. Аврунин О.Г., Шамраева Е.О. Реконструкция объемных моделей черепа и имплантата по томографическим снимкам // *Системы обработки информации: сб. науч. пр. – Х.: ХУПС, 2007. – Вып. 9 (67). – С. 137-140.*

27. Шамраева, Е. О. Выбор метода сегментации костных структур на томографических изображениях / Е. О. Шамраева, О. Г. Аврунин // *Бионика интеллекта: информация, язык, интеллект. – 2006. – № 2 (65). – С. 83– 87.*

28. Avrunin, O., Tymkovych, M., Drauil, J. Automated technique for threedimensional reconstruction of cranial implant based on symmetry (2015) *Information Technologies in Innovation Business Conference, ITIB 2015 – Proceedings*, pp.39-42.

29. Pyatikop, V. A., Moroz, I. S., Tarasenko, V. I., Babalyan YuA, B. S., Gunko, B. V., Genkin, A. V., ... & Masalitin, I. N. (2011). Cranioplasty of bone defects with differentiated usage of implants. *Ukrainian Neurosurgical Journal*, 3, 22-25.

30. Сипитый В.И., Пятикоп В.А., Кутовой И.А., Аврунин О.Г. Опыт проведения стереотаксических расчетов с использованием интраоперационной компьютерной томографии / В. И. Сипитый, В. А. Пятикоп, И. А. Кутовой, О. Г. Аврунин // *Український нейрохірургічний журнал.*– 2006. – № 3. – С. 58–62

31. Аврунин О.Г. Методика стереотаксических расчетов при интраоперационном проведении компьютерной томографии / О. Г. Аврунин // *Проблемы бионики.* – 2002.– № 57.

32. Tymkovych, M. Y., Avrunin, O. G. Farouk, H. I. Reconstruction method of the intact surface of surgical accesses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2014, 9(70), 37- 41.

33. O. Avrunin, M. Tymkovych, V. Semenets and V. Piatykop, "Computed tomography dataset analysis for stereotaxic neurosurgery navigation," *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)*, Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 606-609, doi: 10.1109/CAOL46282.2019.9019459.

34. Y. V. Nosova, M. Y. Tymkovych, N. O. Shushliapina, O. G. Avrunin and V. V. Semenets, "Peculiarities of Pre-Processing of Tomographic Images for Segmentation of Paranasal Sinuses," *2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 489-492, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783713.

35. Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., Abdelhamid, I. Y., Shushliapina, N. O., Nosova, Y. V., & Semenets, V. V. (2019). Features of image segmentation of the upper respiratory tract for planning of rhinosurgical surgery. Paper presented at the *2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2019 - Proceedings*, 485-488.

36. System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine / Ya. Nosova, S. Pavlov, O. Avrunin, O. Hrushko, N. Shushlyapina // *Teaching and subjects on bio-medical engineering. Approaches and experiences from the BIOART-project. – Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. – Printed by Acco cv, Leuven (Belgium), 2021. – P.187–203.*

37. Tymkovych M, Gryshkov O, Avrunin O, Selivanova K, Nosova Y, Mutsenko V, et al. Application of SOFA Framework for Physics-Based Simulation of Deformable Human Anatomy of Nasal Cavity. In: Jarm T, Cvetkoska A, Mahnic-Kalamiza S, Miklavcic D. (eds) *8th European Medical and Biological Engineering Conference. EMBEC 2020. IFMBE Proceedings*, vol. 80. Springer, Cham.

38. Павлов С. В., Аврунін О. Г., Злепко С. М., Бодянський С. В., Колісник П. Ф., Лисенко О. М., Чайковський І. А., Філатов В. О. (2019). Інтелектуальні

технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К». – 2019. – 260 с.

39. Shin H., Falck C., Galanski M. Low-contrast detectability in volume rendering: a phantom study on multidetector-row spiral CT data // Eur Radiol.- 2004.- Т. 14.- № 2.- Т. 341-349.

40. Ertl-Wagner B. Diagnostic evaluation of the craniocervical vascular system with a 16-slice multi-detector row spiral CT. Protocols and first experiences / B. Ertl-Wagner, R. Hoffmann, R. Bruning // Radiologe. – 2002.– Vol. 42. – № 9. – P. 728-732.

41. Повышение интерактивности электронных учебных материалов по курсу Гистология, цитология и эмбриология / С. Ю. Масловский, О. Г. Аврунин, Т. В. Носова, А. С. Масловский, В. В. Семенец, И. И. Шеститко // Медицина сьогодні і завтра. – 2008. –№ 1. – С.144-147.

42. Носова Я. В., Аврунин О. Г., Носова Т. В. Особенности контента при формировании ситуационных задач. Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій : матеріали XX Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Ч. 1. Одеса, ОНАХТ, 2020. С. 147–149.

43. Аврунин О. Г., Носова Я. В. Применение виртуальных тренажеров в лабораторном практикуме при дистанционном обучении. Проблемы теории та практики дистанційної освіти в Україні : матеріали міжвузівської конференції, 19 жовтня 2012 р. Харків: Харк. нац. ун-т будів. та архіт., 2012. С. 6–10.

44. Носова Т. В., Аврунин О. Г. Сучасний погляд на можливості технології панорамного відео для інклюзивної освіти. Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій : матеріали XX Всеукраїнської науковотехнічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Ч. 1. Одеса, ОНАХТ, 2020. С. 144–146.

45. Аврунин О. Г., Носова Я. В., Худаева С. А. Применение технологий панорамного видео для создания обучающего контента в медицине. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : тези

доповідей XXVIII міжнародної науково-практичної конференції Micro CAD2020, 28-30 жовтня 2020 р. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є. І. Харків : НТУ «ХП». – С. 323.

46. Сучасні технології фантомного моделювання в нейрохірургії як різновид симуляційного навчання лікарів-нейрохірургів / В. О. П'ятикоп, О. Г. Аврунін, М. Ю. Тимкович, І. О. Кутовий, І. О. Полях // Матеріали навчально-методичної конференції Симуляційне навчання в системі підготовки медичних кадрів, Харків, ХНМУ.- 2016.- С.136-138.