

**Ministry of Education  
and Science of Ukraine  
Odesa Polytechnic National University  
Institute of Medical Engineering**

**Міністерство освіти і науки України  
Національний університет  
«Одеська політехніка»  
Інститут медичної інженерії**

# **MODERN TECHNOLOGIES OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

## **СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**PROCEEDINGS OF THE 4<sup>th</sup> INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE  
MAY 07-09, 2025**

**МАТЕРІАЛИ ІV МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
07-09 ТРАВНЯ 2025 РОКУ**

*Under the general editorship of  
I. Prokhorovich, N. Manicheva*

*За загальною редакцією  
І. В. Прокоповича, Н. В. Манічевої*

**Odesa, Ukraine / Одеса, Україна  
“Astroprint” / «Астропринт»  
2025**

Under auspice of the  
Social Organization “All Ukrainian Society of Biomedical Engineers and Technologists”  
За сприяння  
Громадської організації «Всеукраїнська асоціація біомедичних інженерів і технологів»

**CONFERENCE  
ORGANIZING COMMITTEE:**

*Oborskyi H.* (Ukraine) – Organizing Committee Chairman  
*Prokopovych I.* (Ukraine) – Organizing Committee  
Deputy Chairman  
*Titova N.* (Ukraine) – Organizing Committee  
Deputy Chairman  
*Manicheva N.* (Ukraine) – Organizing Committee  
Deputy Chairman

**INTERNATIONAL  
PROGRAM COMMITTEE:**

<i>Avrunin O.</i> (Ukraine)	<i>Shlykov V.</i> (Ukraine)
<i>Azarkhov O.</i> (Ukraine)	<i>Storchun E.</i> (Ukraine)
<i>Diadiura K.</i> (Ukraine)	<i>Suchkov H.</i> (Ukraine)
<i>Filatova A.</i> (Ukraine)	<i>Sukhodub L.</i> (Ukraine)
<i>Galkin A.</i> (Ukraine)	<i>Sydorenko I.</i> (Ukraine)
<i>Khudetskyi I.</i> (Ukraine)	<i>Timchuk S.</i> (Ukraine)
<i>Kovalenko O.</i> (Ukraine)	<i>Vassilenko V.</i> (Portugal)
<i>Levashenko V.</i> (Slovakia)	<i>Vysotska O.</i> (Ukraine)
<i>Liashenko A.</i> (Ukraine)	<i>Wójcik W.</i> (Poland)
<i>Mamyrbayev O.</i> (Kazakhstan)	<i>Yavorska E.</i> (Ukraine)
<i>Maksymenko V.</i> (Ukraine)	<i>Yavorskyi B.</i> (Ukraine)
<i>Pavlov S.</i> (Ukraine)	<i>Zaitseva E.</i> (Slovakia)

Recommended for publication by Scientific Council Institute  
of Medical Engineering of the  
Odesa Polytechnic National University,  
minutes No. 10, April 30, 2025

*The authors are responsible for the uniqueness of the text of the  
materials and compliance with the requirements of academic integrity*

**Free online access to printed materials at:**

[https://drive.google.com/file/d/1wqcp2ax\\_Qy9aRLK9v71kthoGZTc4vr\\_5/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1wqcp2ax_Qy9aRLK9v71kthoGZTc4vr_5/view?usp=drive_link)

**ОРГКОМІТЕТ  
КОНФЕРЕНЦІЇ:**

*Оборський Г.О.* (Україна) – голова оргкомітету  
*Прокопович І.В.* (Україна) – заступник  
голови оргкомітету  
*Тітова Н.В.* (Україна) □ заступник  
голови оргкомітету  
*Манічева Н.В.* (Україна) – заступник  
голови оргкомітету

**МІЖНАРОДНИЙ  
ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ:**

<i>Аврунін О.Г.</i> (Україна)	<i>Максименко В.Б.</i> (Україна)
<i>Азархов О.Ю.</i> (Україна)	<i>Павлов С.В.</i> (Україна)
<i>Вассіленко В.</i> (Португалія)	<i>Сідоренко І.І.</i> (Україна)
<i>Висоцька О.В.</i> (Україна)	<i>Сторчун Є.В.</i> (Україна)
<i>Вуйцік В.</i> (Польща)	<i>Суходуб Л.Ф.</i> (Україна)
<i>Галкін О.Ю.</i> (Україна)	<i>Сучков Г.М.</i> (Україна)
<i>Дядюра К.О.</i> (Україна)	<i>Тимчик С.В.</i> (Україна)
<i>Зайцева О.</i> (Словаччина)	<i>Філатова Г.Є.</i> (Україна)
<i>Коваленко О.С.</i> (Україна)	<i>Худецький І.Ю.</i> (Україна)
<i>Левашенко В.</i> (Словаччина)	<i>Шликов В.В.</i> (Україна)
<i>Ляшенко А.В.</i> (Україна)	<i>Яворська С.Б.</i> (Україна)
<i>Мамірбаєв О.</i> (Казакстан)	<i>Яворський Б.І.</i> (Україна)

Рекомендовано до друку вченою радою Інституту медичної  
інженерії Національного університету  
«Одеська політехніка»,  
протокол № 10 від 30 квітня 2025 року

*Автори несуть відповідальність за унікальність тексту  
матеріалів та відповідність вимогам академічної доброчесності*

**Комп'ютерна версія опублікованих матеріалів за адресою:**

[https://drive.google.com/file/d/1wqcp2ax\\_Qy9aRLK9v71kthoGZTc4vr\\_5/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1wqcp2ax_Qy9aRLK9v71kthoGZTc4vr_5/view?usp=drive_link)

М 78 **Modern** technologies of biomedical engineering : proceedings of the 4<sup>th</sup> international scientific and technical conference (May 07–09, 2025, Odesa, Ukraine) = Сучасні технології біомедичної інженерії : матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції (07–09 травня 2025 р., м. Одеса, Україна) / Under the gen. ed. of I. Prokopovych, N. Manicheva ; Ministry of Education and Science of Ukraine ; Odesa Polytechnic National University ; Institute of Medical Engineering. — Odesa : Astroprint, 2025. — 306 с.

ISBN 978-617-8515-53-9

The collected volume of scientific reports presented at the international scientific and technical conference is a scientific and practical publication that contains scientific articles by students, graduate students, candidates and doctors of sciences, teachers, researchers, scientists and practitioners from Europe, Ukraine and from neighboring countries, and beyond. The topics of reports are very diverse and cover many topical problems of modern fundamental sciences related to biomedical engineering. Based on the relevance of the topics and the high level of the presented reports, the conference materials should be recommended to the relevant organizations of the countries for use and implementation of research results in the field of biomedical engineering and informatics.

**UDC 615.47:616-89**

Збірник наукових доповідей міжнародної науково-технічної конференції є науково-практичним виданням, яке містить наукові статті студентів, аспірантів, кандидатів та докторів наук, викладачів, науковців та практиків з різних країн та регіонів України. Тематика доповідей дуже різноманітна та охоплює багато актуальних проблем сучасних фундаментальних наук, пов'язаних з біомедичною інженерією. Виходячи з актуальності тематик і високий рівень представлених доповідей, матеріали конференції доцільно рекомендувати відповідним організаціям для використання та впровадження результатів досліджень в практичну та наукову діяльність.

**УДК 615.47:616-89**

**ISBN 978-617-8515-53-9**

© Odesa Polytechnic National University, Institute of Medical Engineering, 2025  
© Social Organization “All Ukrainian Society of Biomedical Engineers and Technologists”, 2025

**Андрій СОКОЛЬЦОВ**, аспірант  
**Георгій ПАХАРЕНКО**, студент  
**Олексій ШМАТКО**, студент

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: andrii.sokoltsov@nure.ua, heorhii.pakharenko@nure.ua, oleksii.shmatko2@nure.ua

## АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ВХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ У ВЕРХНІХ ДИХАЛЬНИХ ШЛЯХАХ

**Анотація.** У роботі розглянуто інженерно-орієнтований підхід до моделювання носової порожнини та навколоносових пазух на основі КТ-даних, CFD-аналізу та показників риноманометрії. Розглянуто можливості створення CFD-моделей, у яких застосовано цифрову сегментацію, симуляцію повітряного потоку та валідацію результатів за допомогою клінічних даних. CFD-моделі дозволяють не лише візуалізувати зміни, а й прогнозувати результати хірургічного втручання. Такий підхід створює основу для персоналізованого планування та віртуального тестування сценаріїв лікування.

**Ключові слова:** обчислювальна гідродинаміка, риноманометрія, синусит, 3D-моделювання, носова порожнина, комп'ютерне планування

Патології носової порожнини, зокрема викривлення носової перегородки, гіпертрофія носових раковин та наявність *concha bullosa*, відіграють ключову роль у формуванні хронічних порушень дихання й запальних процесів у навколоносових пазухах. Внаслідок анатомічних змін виникають локальні порушення вентиляції, зміни тиску, температури та вологості, що створює сприятливі умови для розвитку інфекційного процесу [1, с. 38–59; 2]. Незважаючи на широке застосування комп'ютерної томографії (КТ) для оцінки анатомії, її статичний характер не дозволяє оцінити функціональні зміни. У цьому контексті поєднання обчислювальної гідродинаміки (CFD) з клінічною риноманометрією надає можливість відтворити повну картину повітряного потоку в носових структурах і провести кількісну оцінку змін, пов'язаних із патологією чи втручанням.

Комплексний аналіз досліджень дозволяє сформувати обчислювальну модель для аналізу дихальної функції на основі КТ-зображень. Моделювання починається з обробки томографічних даних у 3D Slicer із напівавтоматичною сегментацією носової порожнини та пазух. Усі поверхні згладжуються в Meshmixer, після чого відбувається їх експорт у формат STL. CFD-аналіз виконується в OpenFOAM з використанням моделей турбулентності  $k-\omega$  SST та  $k-\epsilon$  [3]. Розрахунки проводяться у стаціонарному та нестаціонарному режимі з часовим кроком 0.01...0.05 с. В якості граничних умов для моделювання вдиху задається витрата повітря 7.5...9.0 л/хв, що відповідає фізіологічному носовому диханню [4, с. 117–119]. Температура повітря на вході 22...24 °C, вологість – 40%, а тиск – атмосферний [5]. Щільність сіток складає 1...3 млн елементів, а час розрахунку на CPU i9 з 32 ГБ RAM коливається від 2 до 6 годин. Результати CFD-аналізу демонструють, що в нормальній анатомії швидкість повітряного потоку в передніх відділах носа сягає 2.5 м/с, а у верхньощелепних пазухах — не перевищує 0.0003 м/с. У пацієнтів з викривленням носової перегородки виявлено підвищення тиску до 2.1 кПа на звуженій стороні, з одночасним збільшенням турбулентної енергії до 0.75 м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>. Внаслідок цього, у контралатеральній половині носа відбувається зменшення швидкості до 1.2 м/с і зростання застійних зон. У разі наявності *concha bullosa* відбувається підвищення локального тиску на 12...18% і утворення зон рециркуляції. Моделювання дренажних потоків у напрямку остіомеатального комплексу, де швидкість повітря становила в середньому 0.04...0.08 м/с, показало, що даних параметрів недостатньо для ефективної вентиляції пазух [6]. CFD-моделі дають змогу також змоделювати передбачувані ефекти хірургічного втручання. Для кожного клінічного випадку формуються дві моделі: до операції та після віртуальної септопластики чи резекції раковин. Після корекції перегородки швидкість повітря в обох половинах носа вирівнювалася до 1.8...2.0 м/с, зниження опору становило до 40%, а зони застою зникали. Це свідчить про можливість використання моделювання як інструменту хірургічного прогнозування. У моделі після турбінопластики спостерігалася зменшення турбулентної енергії в середньому носовому ході в середньому

на 35%, що вказує на покращення ламінарності потоку. Верифікація CFD-даних здійснюється шляхом порівняння з риноманометричними показниками [4] для визначення загального назального опору (TPR) до і після втручання. Клінічні значення TPR (в межах 0.18...0.30 Па/см<sup>3</sup>/с) узгоджуються з CFD-розрахунками опору в ділянці носових клапанів. Площа дихального каналу, розрахована з CFD-моделі, корелює з площами, отриманими за допомогою риноманометрії (до 96% відповідності) [6, с. 87–97; 7]. Об'єднання сегментованих анатомічних моделей, CFD-симуляцій і даних риноманометрії дає змогу створити персоналізований цифровий двійник пацієнта. Перспективним є поєднання CFD-даних із технологіями доповненої реальності для побудови інтерактивних інтраопераційних навігаційних систем, а також 3D натурне моделювання [8].

Таким чином, інженерно-функціональний підхід до аналізу носової порожнини дозволяє поєднати анатомічні дані КТ, чисельне моделювання та клінічну функціональну оцінку [7, 8]. Це відкриває нові можливості для розвитку персоналізованої медицини, об'єктивізації хірургічного планування та підвищення ефективності лікування хронічних патологій ЛОР-органів. У подальших дослідженнях доцільно інтегрувати штучний інтелект для автоматизованої оптимізації геометрії, виявлення патологічних змін і адаптивного вибору лікувальних стратегій.

### Література

1. Shushliapina, N. O., Potapov, S. M., Horhol, N. Y., Avrunin, O. G., Nosova, Y. V., & Abdelhamid, I. Y. (2023). Clinical aspects and cytomorphological and functional features of the nasal mucosa in chronic pathology of the intranasal structures and their verification from CT data. *Український Радіологічний Та Онкологічний Журнал*, 31(1), 38–59. <https://doi.org/10.46879/ukroj.1.2023.38-59>.
2. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С.В. Павлов, О.Г. Аврунін, С.М. Злепко, Є.В. Бодяньський та ін.]; за редакцією С. Павлова, О. Авруніна. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. – 260 с.
3. Tretiakow, D., Tesch, K., Meyer-Szary et al. (2020). Three-dimensional modeling and automatic analysis of the human nasal cavity and paranasal sinuses using the computational fluid dynamics method// *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 278(5), 1443–1453.
4. Аврунін О. Г. Особенности исследования носового дыхания при физических нагрузках / О. Г. Аврунін, Я. В. Носова, С. А. Худаева. // Тези доповіді 5-й всеукраїнської науково-практичної конференції «Здоров'я нації та вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти в Україні», 2018. – С. 117–119.
5. Morawska-Kochman, M., Malecha, Z. M., Zub, K., Kielar, J., Dudek, K., Nelke, K., & Zatonski, T. (2023). Physical Conditions Prevailing in the Nasal and Maxillary Sinus Cavities Based on Numerical Simulation. *Medicina*, 59(6), 1094. <https://doi.org/10.3390/medicina59061094>.
6. Han, S. C., Na, Y., & Won, T.-B. (2023). The Effects of Various Maxillary Sinus Antrostomy Techniques on Modifying the Ventilation and Air-Conditioning Characteristics of the Maxillary Sinus: A Numerical Study. *Journal of Rhinology*, 30(2), 87–97.
7. Сучасні методи діагностики респіраторно-ольфакторної функції: монографія / О. Г. Аврунін, Я. В. Носова, В. В. Семенець, В. О. Філатов, Н. О. Шушляпіна. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 150 с. ISBN 978-966-659-300-2.
8. Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., Saed et al. (2019). Application of 3D printing technologies in building patient-specific training systems for computing planning in rhinology/ *Processing and 48th International Scientific and Practical Conference on Application of Lasers in Medicine and Biology*, 2018, 1–8. doi:10.1201/9780429057618-1.