

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

НОСОВА ЯНА ВІТАЛІЇВНА



УДК 615.47:616-072.7

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕСПІРАТОРНО-ОЛЬФАКТОРНИХ
ПОРУШЕНЬ**

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі біомедичної інженерії у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Аврунін Олег Григорович,
завідувач кафедри біомедичної інженерії,
Харківський національний університет
радіоелектроніки.

Офіційні опотенти: доктор технічних наук, професор
Павлов Сергій Володимирович,
проректор з наукової роботи,
Вінницький національний технічний
університет;

доктор технічних наук, доцент
Філатова Ганна Євгенівна,
доцент кафедри «Обчислювальної
техніки та програмування»,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут».

Захист відбудеться « 7 » березня 2019 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.17 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61001, м. Харків, вул. Пушкінська, 79/1.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розіслано « » _____ 2019 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.В. Куліченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з найбільш актуальних медико-соціальних проблем на сучасному етапі є розробка та впровадження нових медичних технологій для підвищення якості надання медичної допомоги. Це підтверджується пріоритетними напрямками 7-ї Рамкової програми Європейського Союзу, спрямованими на проведення новітніх досліджень з метою поліпшення здоров'я європейських громадян, розвитком і затвердженням нових методів лікування і профілактики хвороб органів дихання. У свою чергу, в Україні захист здоров'я населення є одним із найбільш важливих державних завдань, спрямованих на підвищення якості медичного обслуговування та впровадження стандартів надання медичної допомоги, які ґрунтуються на принципах доказової медицини.

На сьогодні, однією з галузей медицини, найменш забезпеченою доказовими методами функціональної діагностики, є ринологія. При цьому, важливою проблемою є підвищення ефективності діагностики та лікування патологій, пов'язаних з дихальною і нюховою дисфункцією порожнини носа. Для вирішення цієї проблеми необхідні точні діагностичні дані, що базуються на вивченні аеродинамічних характеристик повітряного потоку в носовій порожнині.

За частотою розладів нюху, викликаних захворюваннями верхніх дихальних шляхів, респіраторно-нюхові порушення (кондуктивна дизосмія) складають до 72% від загального числа дізосмій. Цей найпоширеніший вид риногенних дизосмій викликається змінами конфігурації порожнини носа, що перешкоджають доступу пахучих речовин у нюхову область. Нюхова дисфункція різного ступеня спостерігається за таких захворювань як: гострі і алергічні риніти, синусити, аденоїдити, пухлини носа і навколоносових пазух, інфекційні гранульоми. Практично за всіх захворювань порожнини носа, що протікають з обструкцією її просвіту, яка перешкоджає надходженню повітряного потоку з одорівекторами до нюхового епітелію, страждає нюхова функція. Нюхові стимули навіть у малих концентраціях запускають різні поведінкові реакції, що сприяють орієнтуванню в навколишньому середовищі, визначення потенційної небезпеки, можливості відчувати насолоду або огиду.

Складність досліджень нюхової функції полягає у відсутності доказових методів діагностики дізосмій. Існуючі діагностичні підходи засновані, більшою мірою, на якісному визначенні нюхової чутливості. Дослідженням в цій області присвячено роботи відомих вітчизняних і закордонних фахівців – С.Б. Безшапочного, А. С. Журавльова, О.Г. Авруніна, Г. З. Піскунова, Н.О. Шушляпіна, W. Bachmann, B. Broms, P. Cole, G., T. Hummel, H. Farouk та ін.

Найпоширенішими недоліками існуючих методів тестування нюху є те, що на підставі суб'єктивних свідчень обстежуваних робиться висновок про стан нюхового аналізатора, а також слід зазначити деякі методологічні особливості, пов'язані з тим, що часто запахи, які використовуються для ідентифікації в одній країні, не знайомі жителям іншої країни. Отже, результати тестування нюхової функції не можуть бути суворо формалізованими. Для підвищення об'єктивності досліджень нюху застосовують спеціальне обладнання, за допомогою якого намагаються мінімізувати спотворення даних, наприклад, вивітрювання одоранту.

Виходячи з цього, актуальною науково-практичною задачею є розробка інструментального доказового методу діагностики, що дозволяє вивчити риноманометричні показники носового дихання під час дії різних одорівекторів.

Зв'язок роботи з програмами наукових досліджень. Дисертація згідно з науковим напрямком кафедри біомедичної інженерії ХНУРЕ і держбюджетними темами: «Дослідження теоретичних і технічних принципів оцінки стану людини, профілактики, лікування та реабілітації», ДР № 0107U001541, «Дослідження теоретичних і технічних принципів діагностики, оцінки та корекції медико-соціального стану людини», ДР № 0110U002532, «Теоретичні основи і концепція діагностики та лікування станів, що погрожують життєдіяльності людини», ДР № 0117U002523, а також у рамках договору №360 / 08-11 від 04.01.2011 про науково-технічне співробітництво з кафедрою оториноларингології Харківського національного медичного університету за темою «Вивчення та моделювання гострих та хронічних патологічних процесів ЛОР-органів для підвищення ефективності їх лікування», ДР № 0116U004985, у яких здобувач була виконавцем окремих розділів.

Метою дисертаційної роботи є підвищення достовірності оцінювання респіраторно-ольфакторних порушень шляхом розробки методів та засобів об'єктивного визначення тестування носового дихання. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз наявних методів і засобів діагностики респіраторно-ольфакторних захворювань;
- на основі дослідження аеродинаміки носа на мікрорівні запропонувати метод визначення ламінарного пограничного шару повітряного потоку у верхніх дихальних шляхах, що дозволить за рахунок дослідження товщини пристінкової течії повітря відносно неоднорідності слизової оболонки визначати патологічні ділянки носової порожнини за різних режимів дихання;
- розробити метод об'єктивної діагностики дихально-нюхових порушень, який дозволить би за рахунок визначення енергетичних характеристик носового дихання визначати на доказовому рівні порогові ольфакторної чутливості;
- удосконалити метод визначення порогу ольфакторної чутливості дихально-нюхових порушень за рахунок аналізу форми циклограм дихання;
- розробити конструкцію насадки на риноманометр типу ТНДА-ПРХ для проведення об'єктивного тестування дихально-нюхових порушень;
- визначити достовірність запропонованого методу тестування респіраторно-ольфакторних порушень;
- сформулювати деякі медичні та технічні вимоги для проектування сучасних комп'ютерних засобів визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

Об'єктом дослідження є процес визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

Предметом дослідження є методи та засоби об'єктивного визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі для отримання основних наукових і практичних результатів використані методи, які базуються на загальних принципах теоретичної фізики і аеродинаміки для визначення ламінарного пограничного шару повітряного потоку у верхніх дихальних шляхах; методи

статистичного та дискримінантного аналізу використовувались для оцінювання достовірності розробленого методу об'єктивної діагностики респіраторно-ольфакторних порушень; методи і алгоритми цифрової обробки риноманометричних сигналів з використанням середовища програмування MathLab застосовувались для визначення часу відчуття одорівектора.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено метод визначення ламінарного пограничного шару повітряного потоку у верхніх дихальних шляхах, що дозволяє за рахунок дослідження товщини пристінкової течії повітря відносно нерівномірності оболонки визначати патологічні ділянки носової порожнини за різних режимів дихання;

- вперше розроблено метод об'єктивної діагностики респіраторно-ольфакторних порушень, який дозволяє за рахунок визначення енергетичних характеристик носового дихання при дії різних одорівекторів визначати на доказовому рівні відповідні пороги ольфакторної чутливості;

- удосконалено метод визначення порогу ольфакторної чутливості, який відрізняється від відомих тим, що дозволяє за рахунок аналізу форми циклограми носового дихання підвищити об'єктивність діагностики порушень нюхової чутливості або респіраторно-ольфакторних порушень.

Практична цінність отриманих результатів для медичної діагностики полягає у впровадженні розробленого інструментального методу визначення порогу ольфакторної чутливості під час визначення дихально-нюхальних порушень.

Реалізовано дослідний зразок, що дозволяє проводити доказову ольфактометрію за допомогою розробленої одорівекторної насадки для риноманометру типу ТНДА-ПРХ.

Реалізовано програмне забезпечення, що дозволяє визначати товщину ламінарного пограничного шару носової порожнини за різних режимів дихання.

Реалізовано спосіб визначення енергетичних характеристик носового дихання, що дозволяє доказово визначати респіраторно-ольфакторні порушення.

Розроблений пристрій та метод впроваджені у навчальний процес кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки та ряд медустанов: КП «Зачепилівська центральна районна лікарня», в оториноларингологічне відділення КЗОЗ РТМО «Дергачівська ЦРЛ», в оториноларингологічне відділення КЗОЗ «Чугуївська ЦРЛ ім. М.І. Кононенка», в оториноларингологічне відділення КЗОЗ «Зміївська ЦРЛ».

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором особисто та наведено в 28-ми наукових роботах [1 – 28]. Основні ідеї та розробки, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. Особистий внесок здобувача в роботи, написаних у співавторстві, полягає у тому що: в роботі [1] – обґрунтовано необхідність аналізу циклограм дихання під час рино-ольфактометричного дослідження; в [2, 3] – сформульовано недоліки існуючих методів і засобів оцінювання респіраторно-ольфакторної чутливості; в [4, 5, 6, 7] – запропоновано методикку проведення досліджень респіраторно-нюхових порушень за рахунок розміщення носія пахучої речовини в повітряному тракті риноманометра; в [8, 9, 10, 11] – запропоновано конструкцію насадки на риноманометр типу ТНДА-ПРХ для об'єктивного визначення респіраторно-ольфакторних порушень; в [12, 13] – розраховано вагові коефіцієнти за методом приписування балів для кожного з

одорівекторів; в [14, 15, 16] – запропоновано метод визначення респіраторно-ольфакторних порушень на основі розрахунку енергетичних характеристик дихання; в [17] – запропоновано алгоритм для автоматизованого визначення часу відчуття одорівектору під час рино-ольфактометричного тестування; в [18, 19, 20, 21] – запропоновано метод розрахунку товщини ламінарного пограничного повітряного шару у носовій порожині; в [22] – виконано розрахунок коефіцієнта ретестової надійності; в [23, 24] – проаналізовано методи та апаратні засоби візуалізації нюхової щілини; в [25] обґрунтовано необхідність детального дослідження слизової оболонки ольфакторної області на макрорівні; в [26, 27] – обґрунтовано необхідність застосування риноманометричних засобів для визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, які викладено в дисертаційній роботі, доповідалися та обговорювалися на таких конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» (м. Кременчук, 2014 р., 2017 р.), «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування (м. Харків, 2017 р.), «Вітчизняні розробки для охорони здоров'я» (м. Київ, 2016 р.), «Радіоелектроніка та молодь в ХХІ столітті» (м. Харків, 2016 р.), «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку», конференція «Проблеми біомедіаженерії. Наука та технології», (м. Харків, 2017 р.), «Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії» (м. Київ, 2017 р.), «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (м. Одеса, 2017 р., 2018 р.), «Economics, science, education: integration and synerge» (м. Братислава, 2016р.).

Публікації. Результати роботи відображені в 28 опублікованих працях, у тому числі: 6 – у фахових виданнях; 5 – у виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus; 4 – у виданнях, що індексуються в інших наукометричних базах; 10 – у матеріалах конференцій; отримано 3 патенти України на винаходи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 175 сторінок серед них 55 рисунків за текстом, 11 таблиць за текстом, список використаних джерел з 164 найменувань на 20 сторінках, трьох додатків на 16 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить загальну характеристику роботи, обґрунтування її актуальності, формулювання мети й основних задач дослідження, визначення об'єкта, предмета та методів дослідження, наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, зв'язок з науковими програмами, планами, темами, перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача, та наведено відомості про впровадження результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** розглянуто основні особливості будови нюхового аналізатора, висвітлено, проаналізовано методи та засоби, що використовуються під час сучасного діагностування респіраторно-ольфакторних порушень, а також наведено аналітичний огляд наукових досягнень іноземних і вітчизняних вчених за темою дослідження.

За результатами аналітичного огляду літератури встановлено, що:

- на сьогодні не існує доказових об'єктивних інструментальних методів діагностики дихально-нюхальних порушень;
- своєчасне виявлення порушень нюхової функції може сприяти ранній діагностиці різних захворювань, зокрема, пов'язаних з порушеннями носового дихання;
- дослідження дихальної та нюхальної функції виконується різними методами відокремлено один від одного;
- під час діагностики дихально-нюхальних порушень та відповідного комп'ютерного планування ринологічних втручань необхідно застосовувати методи, що об'єднують функціональні результати дослідження носового дихання та дані комп'ютерної томографії, що дозволяють виявляти локалізацію патологічного процесу;
- попередні дослідження аеродинаміки носової порожнини дозволили встановити режими течії повітря та діючі перепади тиску та витрати повітря за різних режимів дихання, але не проводилися дослідження характеристик повітряного потоку на мікрорівні для вивчення його патологічного впливу на слизову оболонку носової порожнини.

Обґрунтовано необхідність створення методів і засобів для комплексного дослідження дихально-нюхальної функції на основі комплексування даних риноманометрії та ольфактометрії. У подальшому це дозволить доказово визначати порушення нюху на основі досліджень характеристик повітряного потоку через носову порожнину в ході дії відповідних одоривекторів, а також визначити характеристики ламінарного межового шару повітряного потоку та співвідношення його товщини до величини неоднорідностей слизової оболонки за різних режимів дихання.

Другий розділ присвячений дослідженню визначення характеристик пристінкової течії повітря у носовій порожнині за різних режимів дихання. У розділі розглянуто основні положення аеродинаміки носової порожнини, визначено основні характеристики ламінарного пограничного шару у носовій порожнині.

Встановлено, що товщину ламінарного пограничного шару δ_i необхідно визначати за формулою (1).

$$\delta_i = \frac{32,4 \cdot d_{hi}}{Re_i^{0,875}}, \quad (1)$$

де Re_i – число Рейнольдса та d_{hi} – гідравлічний діаметр визначаються для кожної i -ї ділянки носової порожнини за формулами (2) та (3) відповідно.

$$d_h = \frac{4S}{\Pi}, \quad (2)$$

де S – площа живого перетину носового каналу; Π – периметр живого перетину носового каналу.

$$Re = \frac{u \cdot d_h}{\nu}, \quad (3)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, що дорівнює $15,02 \text{ мм}^2/\text{с}$; u – середня швидкість течії повітря у носовому каналі, м/с .

Швидкість повітряного потоку у носовій порожнині (4) необхідно розраховувати виходячи з формули для визначення гідравлічної об'ємної витрати газу.

$$Q = u \cdot S, \quad (4)$$

де Q – витрата повітря під час проведення респіраторно-ольфактометричного дослідження, л/с.

Розрахункові співвідношення ширини пограничного шару залежно від числа Рейнольдса за формулою (1) наведені на рис. 1.

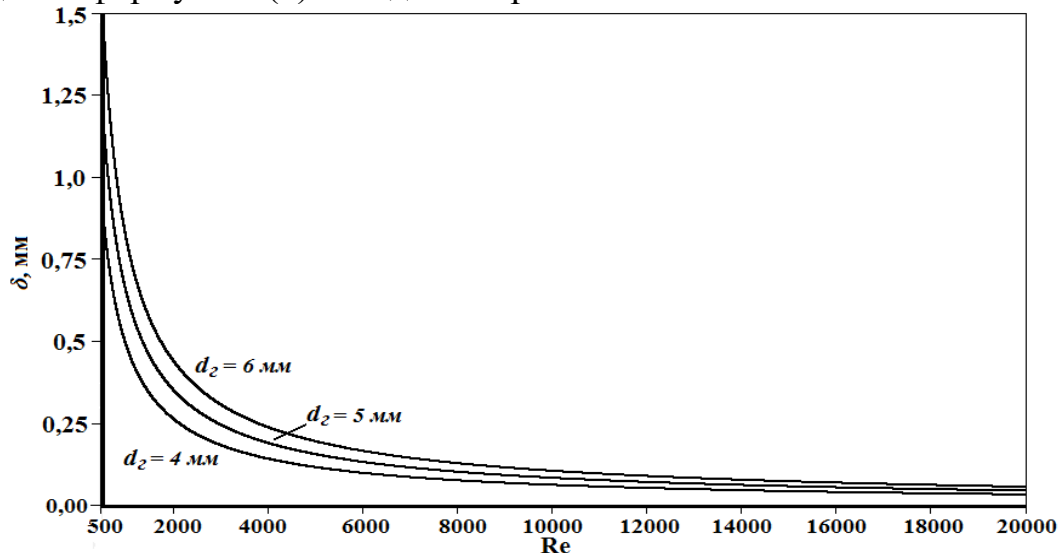


Рисунок 1 – Розрахункові співвідношення ширини пограничного шару залежно від числа Рейнольдса з різними гідравлічними діаметрами носової порожнини

Визначено, що товщина пограничного шару сильно залежить від режиму дихання (витрати, що пропускається), причому під час форсованого дихання (витрати повітря близьких до 1 л / с) різниця в товщині пограничного шару між умовною нормою і при звуженні лівого носового проходу істотно зменшується (рис. 2).

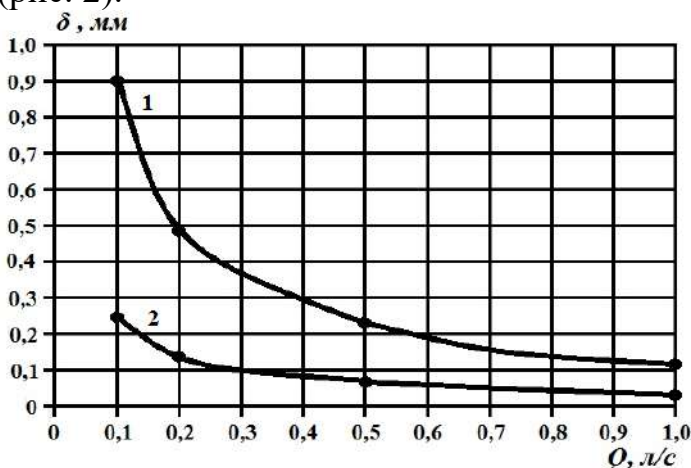


Рисунок 2 – Залежність товщини пограничного шару в носовій порожнині від витрати повітря при еквівалентних діаметрах 9 мм (1) і 1,2 мм (2) відповідно

Під час спокійного дихання (витрати повітря близько 0,2 л / с) товщина пограничного шару істотно залежатиме від еквівалентного діаметра носового каналу. Характерні залежності товщини пограничного шару від еквівалентного діаметра носової порожнини наведені на рис.3.

Таким чином, із зростанням еквівалентного діаметра носових проходів товщина пограничного шару істотно збільшується, що особливо помітно при форсованих режимах дихання. Тому, негативний вплив повітряного потоку проявлятиметься, перш за все, при підвищених витратах і звуженнях носової порожнини і залежатиме від неоднорідності слизової оболонки

носової порожнини, під час форсованого дихання з більшою ймовірністю виходитиме за межі ламінарного пограничного шару.

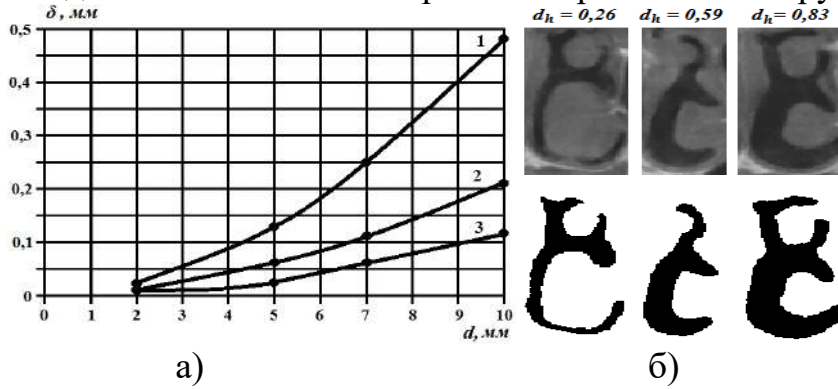


Рисунок 3 – Залежність товщини пограничного шару в носовій порожнині від еквівалентного діаметра перетинів при витратах повітря 0,2 л / с (1), 0,5 л/с (2) і 1 л / с (3), відповідно (а); характерні перетини носової порожнини (б)

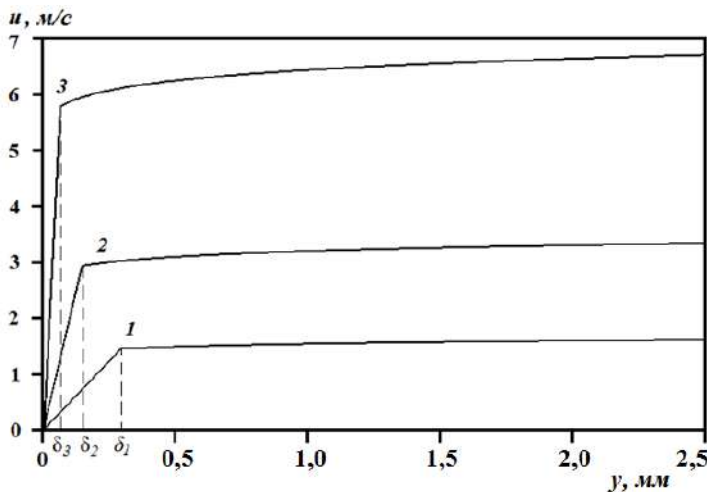


Рисунок 4 – Розрахункові розподілення швидкостей за перетином носового каналу (δ_1 , δ_2 та δ_3 позначають ширину пограничного шару при витратах повітря 1– 0,25 л/с, 2 – 1 л/с, 3 – 2 л/с, відповідно)

У третьому розділі розглянуто основні положення функціональної діагностики носового дихання, розроблено метод тестування респіраторно-ольфакторних порушень на основі енергетичних характеристик носового дихання.

Запропонований метод на першому етапі включає виконання підготовки до проведення процедури динамічної риноманометрії, за якої вимірюються показники перепаду тиску Δp на носовій порожнині і витрати Q повітря під час носового дихання. Носій одорівектора, наприклад, гігроскопічна циліндрична кільцева прокладка, просочена розчином специфічної пахучої речовини, розміщується у повітряному тракті риноманометра, на вході датчика вимірювання витрати повітря.

Далі виконується безпосередньо процедура динамічної ринофлоуметрії за допомогою риноманометра для отримання циклограм дихання, що є залежностями витрати $Q(t)$ повітря та перепаду тиску $\Delta p(t)$ на носовій порожнині від часу.

Розрахункові розподілення швидкостей за перетином носового каналу наведені на рис. 4. Під час розрахунку показників пограничного шару необхідно задаватися показниками витрат повітря, отриманими в результаті комп'ютерної ольфактометрії або фізіологічними даними для відповідних режимів дихання.

З підсиленням дихання та відповідним зменшенням товщини пограничного шару повітряного потоку підвищується ризик негативного впливу турбулентного повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини.

Використання даного способу дає можливість на етапах діагностики та хірургічного планування провести кількісну оцінку ефекту негативного впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини, який пов'язаний з турбулентним висушуванням та визначати ділянки, що за запропонованим критерієм підлягають хірургічній корекції.

При цьому пацієнт виконує дихальні маневри з наростанням їхньої інтенсивності та фіксується натисканням на кнопку час отримання чутливості до пахучої речовини. Далі виконується розрахунок пневматичної потужності $N(t)$ циклограми дихання за формулою (4)

$$N(t) = \Delta p(t) \cdot Q(t). \quad (4)$$

Відповідні графіки пневматичної потужності під час дихання в нормі і під час порушення нюхової чутливості (із зазначенням пунктирною лінією t_e часу появи чутливості до одорівектору) наводяться на рис. 5.

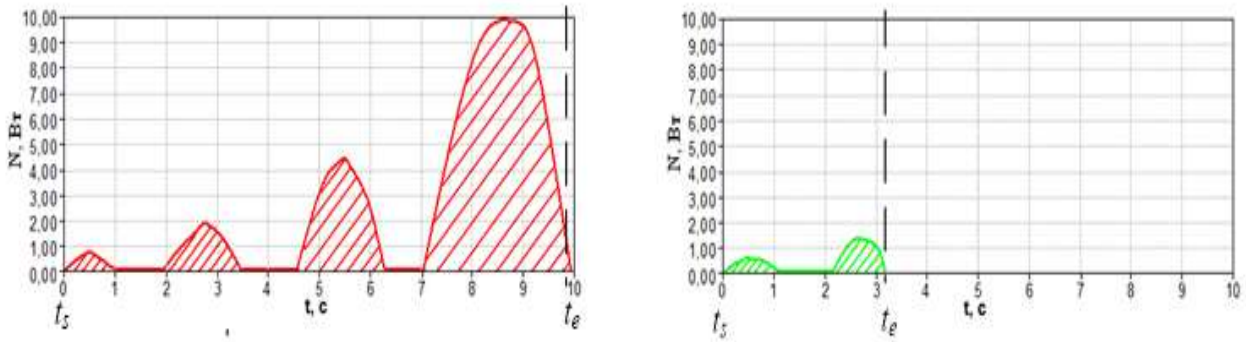


Рисунок 5 – Циклограми пневматичної потужності під час носового дихання: а – при порушенні нюхової чутливості, внаслідок поліпозного риносинуситу, б – в нормі

Визначення енергії E дихання, що характеризує колориметричні витрати на дихання з появою чутливості до одорівектору, виконується інтеграцією циклограми пневматичної потужності дихання за формулою (5).

$$E = \int_{t_s}^{t_e} N(t) dt, \quad (5)$$

де t_s – стартовий час дослідження, як правило, приймається рівним 0; t_e – час появи чутливості до одорівектору.

Експериментальним шляхом на основі проведених досліджень була розроблена класифікація ступеня порушення сприйняття запахів:

- $E \leq 2$ Дж – умовно нормальний нюх;
- $2 < E \leq 8$ Дж – середній ступінь дізосмії;
- $8 < E \leq 16$ Дж – важка ступінь дізосмії;
- $E > 16$ Дж – практично повна дізосмія.

Встановлено, що для визначення порогу нюхової чутливості доцільно використовувати розроблений метод автоматизованого визначення порогу відчуття одорівектора. Метод заснований на аналізі циклограми дихання, а саме, пошуку моментів часу, за якого у випробуваного доволіно короткочасно частішає дихання. Даний поріг відповідає реакції випробуваного на запах, що подається в ході рино-ольфактометричної оцінки нюхової чутливості людини, та розраховуються за формулою (6)

$$b = \{ A_{i+1} < A_i \ \& \ B_{i+1} < B_i \}, \quad (6)$$

де A_{i+1} – ширина (i+1)-го періоду дихання; A_i – ширина i-го періоду дихання; B_{i+1} – довжина (i+1) паузи між періодами дихання; B_i – довжина i-й паузи між періодами дихання; b – точка початку i-го періоду дихання, що відповідає порогу сприйняття запаху (рис.6).

Після визначення точки сигналу, що відповідає часу відчуття одорівектора пацієнтом, на екран комп'ютера виводиться графік з вихідним риноманометричним сигналом, бажана точка позначена трикутником, а також виводиться текстове повідомлення.

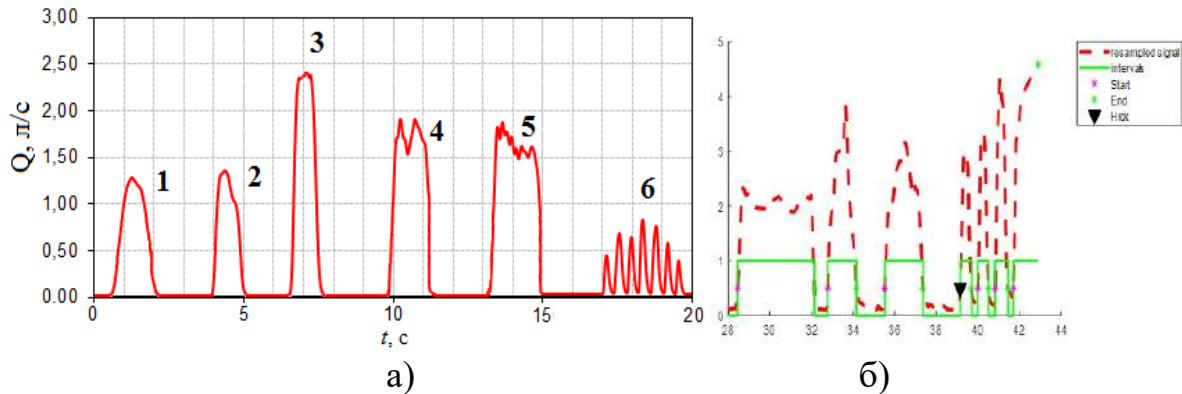


Рисунок 6 – Циклограми дихання під час визначення респіраторно-ольфакторних порушень: а) 1, 2 – спокійне дихання (норма); 3 – форсоване дихання (ригідність носового клапана); 4, 5 – форсоване дихання – ступінчастий вдих (нормально-функціонуюча рухливість носового клапана); 6 – ступінчастий вдих – «принюхування» б) результати роботи блоку цифрової обробки рино-ольфактометричного сигналу (трикутником позначено час відчуття одорівектору)

Виконано оцінювання точності класифікації респіраторно-ольфакторних порушень на основі застосування апарату нечіткої логіки.

Як вхідні параметри системи нечіткого виводу використовувалися такі лінгвістичні змінні: «одорівектор_1», «одорівектор_2», «одорівектор_3», а вихідні параметри – нечітка лінгвістична змінна «нюхова_чутливість».

Як терм-множини вхідних лінгвістичних змінних використовували множину $T1 = \{\text{відмінно, добре, слабо, не_відчувається}\}$, що відповідає ступеню відчуття одорівектора обстежуваним. Як терм-множини для вихідної лінгвістичної змінної використовували множину $T2 = \{\text{«висока», «середня», «низька», «відсутня»}\}$. Область визначення лінгвістичних змінних $[0\ 30]$ Дж. Моделювання проводили в пакеті Matlab за допомогою алгоритму Мамдані, оскільки для нашої задачі більш важливим є пояснення, обґрунтування прийнятого рішення. В обраному алгоритмі застосовувалися такі параметри: для кон'юнкції – операція мінімуму; для диз'юнкції – операція максимуму; для імплікації – операція мінімуму; для агрегації – операція максимуму; для дефазифікації – метод центру тяжіння. Формалізацію термів здійснювали за допомогою симетричної гаусівської функції приналежності, прямим методом побудови, оскільки переважна більшість об'єктів знаходиться в певному обмеженому інтервалі.

За допомогою розробленої моделі нечіткого логічного виводу процесу ольфактометричного дослідження нюхову чутливість визначали у 120 хворих з порушенням аеродинаміки носа і у 100 осіб з контрольної групи.

Експериментальні результати показали, що для вибірки, яка складається з 220 пацієнтів, розроблена модель нечіткого логічного виводу ступеня порушення нюхової функції підтвердила діагнози для 201 пацієнта, отже, точність класифікації становить 92%.

У четвертому розділі запропоновано конструкцію одорівекторної насадки для риноманометра ТНДА-ПРХ (рис.7).

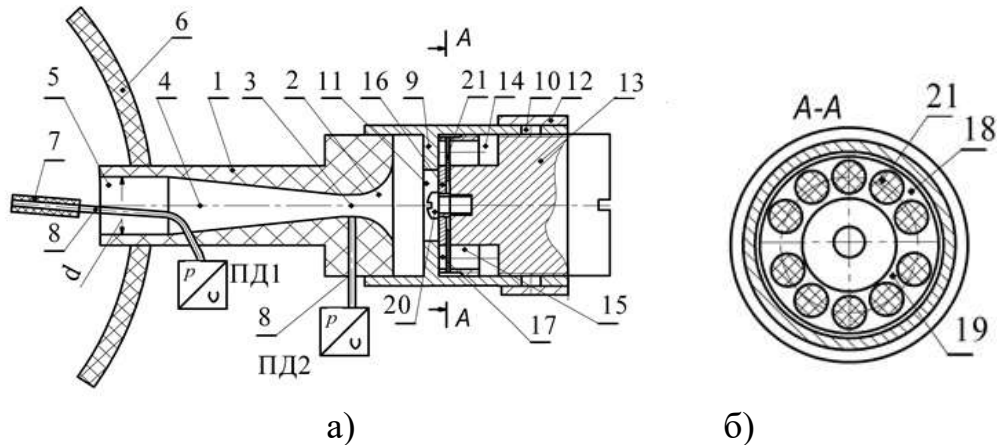


Рисунок 7 – Загальний вигляд одорівекторної насадки а) у робочому положенні; б) в перетині по лінії А-А (1 – корпус; 2 – сопло Вентурі; 3-5 – отвори сопла Вентурі; 6 – маска; 7 – мундштук; 8 – трубка; 9 – циліндричний перехідник; 10 – радіальний отвір; 11 – фланець з внутрішнім отвором; 12 – циліндрична обойма; 13 – втулка; 14 – кільцевий колектор; 15 – вісьові отвори втулки; 16 – шайба; 17 – вісьові отвори шайби; 18 – внутрішній ущільнювальний пояс; 19 – зовнішній ущільнювальний пояс; 20 – гвинт; 21 – одорівектор)

Конструкція одорівекторної насадки, крім контейнера для розміщення пахучої речовини, передбачає можливість регулювання потоку повітря (рис.8). Причому, для того, щоб одорівекторна насадка не створювала додаткового аеродинамічного опору, сумарна площа входних отворів-повітропроводів на порядок перевершує площу входного отвору сопла Вентурі. При типових діаметрах витратомірів Вентурі для риноманометричних вимірювань у межах від 6 до 9 мм і відповідному коефіцієнті втрат тиску у діапазоні $1,8 \div 0,2$, сумарна площа входних повітряних отворів одорівекторної насадки має становити не менше $400-600 \text{ мм}^2$, відповідно, що відповідатиме на порядок меншим значенням коефіцієнта втрат тиску.

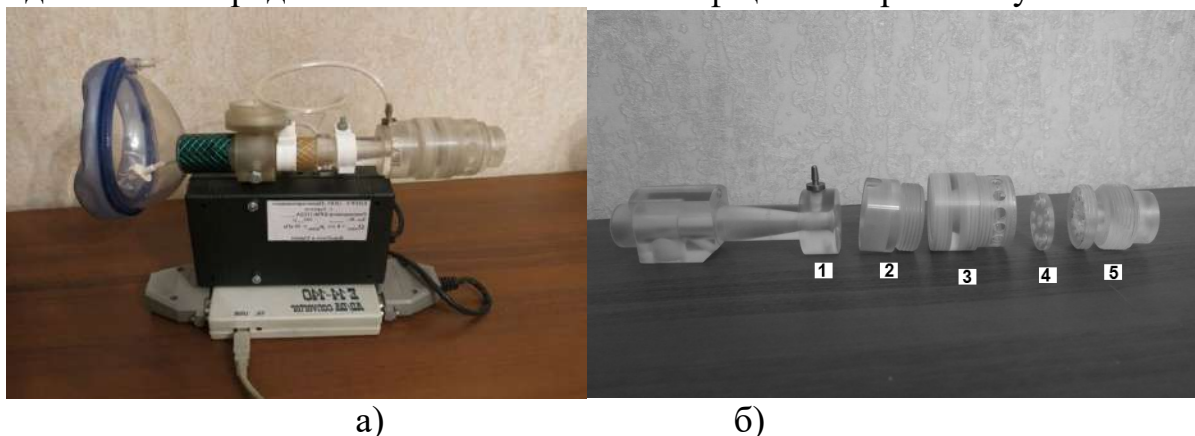


Рисунок 8 – Засіб для тестування респіраторних порушень нюху
а) одорівекторна насадка у повітряному тракті риноманометра типу ТНДА-ПРХ;
б) дослідний зразок одорівекторної насадки (1 – сопло Вентурі; 2 – циліндричний перехідник; 3 – циліндрична обойма; 4 – шайба; 5 – втулка)

Проведено визначення інтенсивності випаровування одорівектора під час проведення ольфактометричного дослідження. Визначено, що найбільша

інтенсивність випаровування для всіх одорівекторів відповідає найменшій площі повітряних отворів одорівекторної насадки ($S=400 \text{ мм}^2$) та найбільшій витраті повітря ($q=2 \text{ л/с}$).

Оскільки невизначеність у медичній практиці стає великою проблемою на шляху, до постановки точного діагнозу проведено спробу формування інтегрального показника ольфакторної чутливості за рахунок визначення вагових коефіцієнтів ступеня важливості застосування одорівектора методом приписування балів. Для визначення вагових коефіцієнтів одорівекторів під час розробки інтегрального показника нюхової чутливості враховувалася експертна думка дев'яти експертів про ступінь важливості кожної пахучої речовини під час проведення ольфактометричного дослідження. Рівень компетентності експертів робочої групи (M) має відповідати такій умові:

$$0,67 \leq M \leq 1,00. \quad (6)$$

При цьому значення M обчислюється за такою формулою:

$$M = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m K_j, \quad (7)$$

де K_j – рівень компетентності j -го експерта, m – кількість експертів у складі робочої групи.

Для оцінки рівня компетентності (K_j) кожного j -го експерта ($j=1,m$) використовувався такий вираз

$$K_j = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 K_{ij}. \quad (8)$$

У вираз (8) включені п'ять узагальнених показників K_{ij} , що враховуються під час оцінювання рівня компетентності j - експерта, при цьому ($0 \leq K_{ij} \leq 1$).

K_{1j} – враховує професійну підготовленість, стаж і досвід роботи;

K_{2j} – враховує рівень інформованості в сфері наукових публікацій;

K_{3j} – враховує, на основі самооцінки, прагнення до професійного зростання, вміння працювати в колективі, а також дисциплінованість і організованість;

K_{4j} – враховує особисті якості експерта, дані йому колегами експертами;

K_{5j} – враховує рівень узгодженості дій експерта з членами формованої робочої групи під час виконання тестового завдання.

Рівень компетентності експертів робочої групи $M=0,88$, що задовольняє умову (6), відтак, сформована група є компетентною.

Експертам оториноларингологам були запропоновані опитувальники, де пропонувалося проставити бали від 1 до 10 за ступенем важливості застосування одорівекторів (1 – настоянка валеріани, 2 – оцтова кислота, 3 – нашатирний спирт) для виявлення нюхових порушень. Де 1 бал – не важливий, 5 – середньої важливості, 10 – дуже важливий.

Вагові коефіцієнти приймають такі значення:

$$w_1 = \frac{5,927}{9} = 0,659, \quad w_2 = \frac{2,603}{9} = 0,289, \quad w_3 = \frac{0,471}{9} = 0,052.$$

Маленьке значення вагового коефіцієнта одорівектора 3 (нашатирний спирт) не означає, що даний показник не повинен брати участі в інтегральній оцінці нюхової чутливості. Нашатирний спирт інформативний тільки тоді, коли відсутні показники під

час дослідження на настойку валеріани і оцтової кислоти, тобто при аносмії, але при цьому нюхово-смакова чутливість залишається функціонуючою.

Також проведено оцінювання діагностичної значущості запропонованого методу тестування респіраторно-ольфакторних порушень з урахуванням додаткових параметрів – враховувався час і потужність дихання при настанні порога відчуття одорівектора.

Нормована Евклідова відстань між контрольованими станами Θ_0 та Θ_1 (Θ_0 – умовна норма, Θ_1 – стан при респіраторно-ольфакторних порушеннях) при взаємній незалежності n ознак обчислюється за формулою

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{m_i^{(0)} - m_i^{(1)}}{\sigma_i} \right)^2}, \quad (9)$$

де $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$ – середні значення i -ї ознаки величини X для умов $\Theta \in \Theta_0$ (умовна норма), та $\Theta \in \Theta_1$ (порушення носового дихання) відповідно,

σ_i – середньоквадратичні відхилення i -ї ознаки, що визначаються згідно з виразом

$$\sigma_i = \max(\sigma_i^{(0)}, \sigma_i^{(1)}) \text{ при } \sigma^{(0)^2} \neq \sigma^{(1)^2},$$

де $\sigma_i^{(0)}$, $\sigma_i^{(1)}$ – середньоквадратичні відхилення i -го ознаки для умов $\Theta \in \Theta_0$ (умовна норма), та $\Theta \in \Theta_1$ (порушення носового дихання).

При нормальному розподілі значень вимірюваної величини ймовірність помилки другого роду при прийнятті рішень про стан об'єкта визначається через інтеграл ймовірності Лапласа $\Phi(\cdot)$ і оцінюється нерівністю

$$P_{out} \leq 1 - \Phi(\delta / 2), \quad (10)$$

де δ визначається за формулою (9).

З формул (9) і (10) очевидно, що ймовірність помилки тим менше, чим більше нормований за дисперсією квадрат Евклідової відстані між векторами середніх значень ознак.

У запропонованому методі враховують час і потужність дихання при настанні порога відчуття одорівектора присутні наступні вимірювані фізичні величини (при кількості вимірюваних параметрів $n=5$):

X_1 – максимальна витрата повітря Q ;

X_2 – перепад тиску $\Delta p \equiv p$ при максимальній витраті повітря;

X_3 – витрата повітря Q_s з появою нюхової чутливості;

X_4 – перепад тиску $\Delta p_s \equiv p_s$ з появою нюхової чутливості;

X_5 – час t_s з появою нюхової чутливості.

Стани умовної норми і порушення носового дихання позначаються, відповідно, як Θ_0 та Θ_1 . Всього було обстежено 85 пацієнтів, розділених на дві групи: 40 осіб без порушень носового дихання та 45 осіб з порушеннями носового дихання. При цьому визначалися максимальні значення витрати повітря Q та перепаду тиску Δp у носовій порожнині (стандартний метод форсованої ЗАРМ), а також під час проведення комп'ютерної ольфактометрії значення витрати повітря Q_s та перепаду тиску з появою нюхової чутливості при подачі відповідного одорівектора. Потім для кожної групи пацієнтів розраховувались статистичні показники: середні значення та середньоквадратичні відхилення відповідних вимірюваних величин у нормі та при дихально-нюхових

порушеннях. Результати розрахунку нормованої евклідової відстані для оцінюваних показників методу відображаються на графіку на рисунку 9, а. Зниження ймовірності помилки діагностичного рішення по мірі додавання досліджуваних параметрів у модель дискримінації наведено на рис. 9, б.

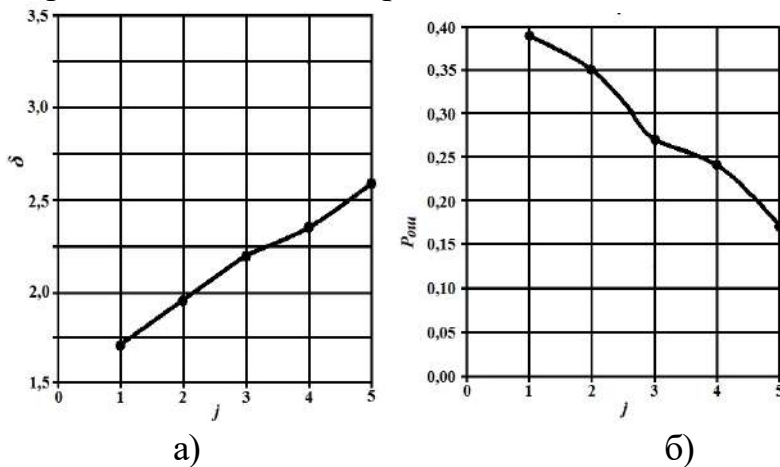


Рис. 9. Залежності збільшення нормованої Евклідової відстані (а) та зменшення ймовірності помилки прийняття рішення (б) по мірі додавання ознак в модель 1 – для сигналу витрати повітря; 2 – для сигналу перепаду тиску; 3 – витрата повітря при появі нюхової чутливості, 4 – перепад тиску при появі нюхової чутливості, 5 – час появи нюхової чутливості форсованій риноманометрії, так і при ольфактометрії, а також час появи нюхової чутливості на одорівектор. Перепади тиску не чинять істотної ролі на модель дискримінації.

У четвертому розділі також було розроблено медико-практичні вимоги та рекомендації до проектування технічних засобів для дослідження дихально-нюхових порушень.

У **додатках** наведено акти впровадження та диплом переможця Всеукраїнського конкурсу «Винахід року - 2016» від Українського інституту інтелектуальної власності та список публікацій здобувача за темою дисертації.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено розв'язання конкретного наукового завдання – підвищення достовірності оцінювання респіраторно-ольфакторних порушень шляхом розробки методів та засобів об'єктивного визначення тестування носового дихання. У результаті проведених досліджень та аналізу одержаних результатів сформульовано такі висновки:

1. На основі проаналізованих джерел науково-технічної літератури і патентної інформації виявлено фактичну відсутність сучасних доказових методів та інструментальних засобів дослідження респіраторно-ольфакторних порушень, що дозволило сформулювати основні задачі в роботі.

2. Встановлено, що товщина ламінарного межового шару зменшується при зменшенні еквівалентного діаметру носової порожнини та при збільшенні числа Рейнольдса, що характеризує ступінь турбулізації повітряного потоку. Типові значення товщини ламінарного межового шару знаходяться в діапазоні 0,2 - 0.05 мм

При цьому очевидно, що додавання аеродинамічних показників Q_s , t_s та Δp_s точки переходу в турбулентний квадратичний режим течії повітря збільшує нормована Евклідова відстань порівнянно зі стандартним методом форсованої ЗАРМ на величину 0,68 (в 1,4 раза) та відповідно знижує ймовірність помилки діагностики вдвічі (с 0,35 до 0,17).

Причому можна помітити, що найбільший внесок у зменшення ймовірності помилки роблять витрата повітря, як при стандартній

залежно від режиму носового дихання та конфігурації носової порожнини. При цьому, товщина пограничного шару сильно залежить від витрати, що пропускається (режим дихання) і порівняно слабо від еквівалентного діаметра носового каналу. Таким чином, негативний вплив повітряного потоку залежатиме від неоднорідності слизової оболонки носової порожнини, яка при форсованому диханні з більшою ймовірністю виходитиме за межі ламінарного пограничного шару.

3. Встановлено, що для оцінювання респіраторних порушень нюху доцільно використовувати метод, за якого в повітряному тракті риноманометра встановлюється одоривектор, а пацієнту пропонується виконати дихальні маневри з послідовним нарощуванням інтенсивності дихання при фіксуванні моменту часу, за якого досягається нюхальна чутливість з наступним визначенням енергетичних характеристик носового дихання.

4. Встановлено, що реєстрацію порога нюхальної чутливості можна виконувати за рахунок автоматизованого аналізу циклограми дихання та виявлення характерних фрагментів дихальних циклів, що дозволяє об'єктивізувати запропонований метод комп'ютерної ольфактометрії. При цьому в нормі та патології значення енергії дихання складали в середньому $0,4 \pm 0,18$ та $2 \pm 0,43$ Кал відповідно.

5. Встановлено, що для проведення комп'ютерної ольфактометрії в повітряному тракті риноманометра необхідно застосовувати насадку – контейнер з одоривектором, який повинен мати малий аеродинамічний опір (порівняно з аеродинамічним опором повітряного тракту риноманометру), надійну фіксацію прокладки з одорантом, бути безпечним в експлуатації та мати можливість регулювати повітряний потік через одоривектор. Розроблено конструкцію одорівекторної насадки на риноманометр ТНДА-ПРХ для проведення об'єктивного тестування дихально-нюхових порушень.

6. Проведено статистичну обробку результатів діагностики, що підтверджує адекватність моделі незалежної статистичної верифікації та дає можливість використовувати даний метод для функціональної діагностики дихально-нюхових порушень і тестування респіраторно-нюхової чутливості. Показник ймовірності помилки 2-го роду становить 0,15, що свідчить про те, що отримані результати є достовірними.

7. На основі отриманих теоретичних положень і експериментальних результатів сформовані деякі медичні та технічні вимоги, і практичні рекомендації для проектування технічних засобів для дослідження дихально-нюхових порушень, основними з яких є:

- для доказової діагностики доцільно застосовувати комплексне рино- та ольфактометричне дослідження комплексно, причому необхідно розміщувати одорівектор у повітряному тракті риноманометра;
- енергетичні характеристики носового дихання під час проведення комп'ютерної ольфактометрії доцільно визначати при стандартних концентраціях типових пахучих речовин;
- одорівекторна насадка повинна володіти мінімальним повітряним опором та можливістю регулювання подачі повітря через насадку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Носова Я.В. Визуализация обонятельной щели / Я.В. Носова, Н.О. Шушляпина, Т.В. Носова // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 39. – С. 73 – 77.

Здобувачем проаналізовані методи та апаратні засоби візуалізації нюхової щілини.

2. Nosova Y. Olfactometry diagnostic at the modern stage / O. Avrunin, N. Shushlyapina, Y. Nosova, O. Bogdan // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 12. – С. 95 – 100.

Здобувачем сформульовані недоліки існуючих методів та засобів оцінки респіраторно-ольфакторної чутливості.

3. Носова Я.В. К вопросу о формализации диагностики обонятельных нарушений / Я.В. Носова // Бионика интеллекта. – Харків: ХНУРЕ, 2017. – №2 (89). – С. 183 – 187.

4. Носова Я.В. Разработка конструкции ольфактометрической насадки / Я.В. Носова, О.Г.Аврунін, В. В. Семенец // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – №. 2(51). – С. 166 – 169.

Здобувачем розроблено кресленок загального виду (по перетинах) одорівекторної насадки на риноманометр для визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

5. Носова Я.В. Возможности автоматизированного определения порога ощущения одоривектора при риноманометрической оценке обонятельной чувствительности / Я.В. Носова, О.Г.Аврунін, Т. В. Жемчужкина // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – № 26 (1302). – С. 31 – 36.

В даній статті здобувачем запропоновано алгоритм для автоматизованого визначення часу відчуття одорівектора під час рино-ольфактометричного тестування.

6. Носова Я.В. Определение микрохарактеристик воздушного потока в носовой полости при дыхании / Я.В. Носова, О.Г.Аврунін, Х. И. Фарук // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях, 2018. – № 16 (1292). – С. 122 – 127.

Здобувачем запропоновано граничні умови для турбулентного повітряного потоку при визначенні товщини ламінарного пограничного шару.

7. Nosova Y.V. Method of expression of certain bacterial microflora mucosa olfactory area / O. G. Avrunin, N.O. Shushlyapina, Y.V. Nosova, W. Surtel, A. Burlibay, M. Zhassandykyzy // Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications, 2015. – 98161L. – С. 1 – 6.

Здобувачем обґрунтована необхідність детального дослідження слизової оболонки ольфакторної області на макорівні.

8. Носова Я.В. Модуль оценки функции обоняния у человека. [Электронный ресурс] / Я.В. Носова, Н.О. Шушляпина, О.Г. Аврунин // Биомедицинская

инженерия и электроника. – 2015. – №1. – Режим доступа: www.es.rae.ru/biofbe/201-991.

Здобувачем запропоновано метод визначення респіраторно-ольфакторних порушень на основі розрахунку характеристик дихання.

9. Nosova Ya. The use of statistical characteristics of measured signals to increasing the reliability of the rhinomanometric diagnosis / Ya. Nosova, N. Shushliapina, S. V. Kostishyn, L. G. Koval et al. // Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2016. – 100312 M. – P. 1 – 8.

Здобувачем обґрунтовано застосування риноманометричних засобів, що підвищує достовірність визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

10. Nosova Y. V. Principles of computer planning in the functional nasal surgery/ O. G. Avrunin, Y. V. Nosova, N.O. Shuhlyapina, S.M. Zlepko, S.V. Tymchyk et al.//Przeglad Elektrotechniczny. – 2017. – №1(3). – С. 142 – 145.

Здобувачем запропоновано використовувати функціональні респіраторно-ольфакторні методи дослідження при плануванні ринохірургічних втручань.

11. Nosova Y. V. Study of the air flow mode in the nasal cavity during a forced breath / O. G. Avrunin, Y. V. Nosova, V. G. Paliy, N. Shushlyapina et al.// Proc. SPIE, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments. – 2017. – 104453H. – P.1 – 6.

Здобувачем обґрунтовано необхідність застосування риноманометричних засобів для визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

12. Nosova Ya. V. Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics / Ya.V. Nosova, O. G. Avrunin, V.V. Semenets // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No. 1 (1). – P.64 – 68.

Здобувачем обґрунтовано необхідність аналізу циклограм дихання під час рино-ольфактометричного дослідження.

13. Nosova Y. V. A tool for researching respiratory and olfaction disorders/ Y.V. Nosova, K. I. Faruk, O. G. Avrunin // Telecommunications and Radio Engineering. – 2018. – №77(15). – С. 1389–1395.

Здобувачем запропоновано методику проведення досліджень респіраторно-нюхових порушень за рахунок розміщення носія пахучої речовини в повітряному тракті риноманометра.

14. Nosova Y.V. Calculation of weight indicators of the importance of using odorivectors for the purpose of formalizing olfactometry diagnosis / Y.V. Nosova, O. S. Shevchenko, S. A. Khudaieva, I. A. Younouss // International Academy Journal. Web of Scholar, 2018. – №7(25), Vol. 1. – P. 20 – 22.

Здобувачем виконано оцінку компетентності робочої групи експертів з оцінювання ступеня важливості застосування одорівекторів у ході визначення визначенні респіраторно-ольфакторних порушень.

15. Nosova Y.V. Aerodynamic features of the olfactory area in nasal breathing / Y.V. Nosova, O. G. Avrunin, N. O. Shushliapina, I.A. Younouss // Science Review. – 2017. – №7(7). – С. 27–30.

Здобувачем доведено, що зі збільшенням швидкості повітряного потоку товщина ламінарного пограничного шару зменшується.

16. Носова Я.В. Анализ энергетических характеристик носового дыхания при ольфакто-метрических исследованиях / Я.В. Носова, Х. Фарук, Н.О. Шушляпина // Материалы XIII Международной научно-технической конференции "Физические процессы и поля технических и биологических объектов". – Кременчуг: КрНУ, 2014. – С. 83.

Здобувачем запропоновано використовувати енергію дихання як критерій нюхової чутливості.

17. Nosova Ya. The possibilities for objective diagnostic of olfactory disturbance / Ya. Nosova, N. Shushliapina // Economics, science, education: integration and synergy: materials of international scientific and practical conference. – Bratislava, 2016. – P.107 – 108.

Здобувачем розраховано, що фізіологічні коливання показують енергію в 0,5 Дж при тестуванні ольфакторної функції.

18. Носова Я.В. Розробка пристрою кількісної оцінки нюхальних порушень людини / О.Г. Аврунін, Я.В. Носова, Т. В. Носова, Н.О. Шушляпіна // Вітчизняні інженерні розробки для охорони здоров'я: матеріали науково-практичної конференції біомедичних інженерів і технологів України. – Київ: ФБМІ НТУУ «КПІ», 2016. – С.13.

Здобувачем запропоновано використовувати оргскло в як матеріал для виготовлення одорівекторної насадки.

19. Носова Я.В. Устройство для тестирования респираторно-обонятельных нарушений / Я.В. Носова, Х. И. Фарук, А. В. Бережная // 20-й Ювілейний Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь в XXI столітті». Зб. матеріалів форуму Т.1". – Харків: ХНУРЕ, 2016. – С. 132 – 133.

Здобувачем запропоновано в респираторно-ольфакторному дослідженні як розхідний матеріал використовувати кільцеву марлеву прокладку, просочену розчином одорівектора.

20. Носова Я.В. Особенности аэродинамики обонятельной области / Я.В. Носова, О.Г. Аврунин // Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: матеріали Міжнарод. наук.-техн. конфер. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 77 – 78.

Здобувачем виконано розрахунок товщини ламінарного пограничного шару для типових гідравлічних діаметрів носової порожнини.

21. Носова Я.В. Определение надежности ольфактометрических измерений / Я.В. Носова, О.Г. Аврунин, Н.О. Шушляпина // XVI Міжнародна наук.-тех. конференція "Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів": матеріали конференції. – Кременчуг: КрНУ, 2017 – С.79 – 80.

Здобувачем у даних тезах виконано розрахунок коефіцієнта ретестової надійності.

22. Носова Я.В. Некоторые аспекты разработки способа повышения объективности ольфактометрических исследований / Я.В. Носова, В. И. Шапошникова // 6-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития», МРФ-2017. Конференция «Проблемы биомедицинской инженерии. Наука и технологии». Сборник научных трудов. – Харків: ХНУРЕ, 2017. – С 19 – 20.

Здобувачем сформульовано вимоги до розробки сучасних методів і засобів визначення респираторно-ольфакторних порушень.

23. Носова Я.В. До аналізу методів дослідження нюху в оториноларингології / О. Г. Аврунін, Я.В. Носова, Н. О. Шушляпіна // Матеріали першої міжуніверситетської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Сучасний стан та перспективи біомедичної інженерії». – Київ: ФБМІ НТУУ «КПІ», 2017. – С.17 – 18.

Здобувачем обґрунтовано необхідність створення нових об'єктивних інструментальних методів для визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

24. Носова Я.В. Возможности доказательного тестирования обонятельной функции на основе рино-манометрических данных / О. Г. Аврунин, Я.В. Носова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Матеріали XVII міжнар. наук.-техн. конференції. – Одеса – Хмельницький: ХНУ, 2017. – С.127.

Здобувачем побудовані графіки пневматичної потужності дихання під час проведення рино-ольфактометричного дослідження.

25. Носова Я.В. Формализация показателей обонятельной чувствительности при поддержке принятия решений для ольфакто-метрической диагностики / Я.В. Носова, О.Г. Аврунин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Матеріали XVIII міжнар. наук.-техн. конференції Одес. нац. акад. зв'язку ім. О.С. Попова. – Одеса, 2018. – С. 142 – 144.

Здобувачем були розраховані вагові коефіцієнти за методом приписування балів для кожного з одорівекторів.

26. Спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень: пат. 110453 С2 Україна: МПК А61В5/08(2006.01) / Аврунін О.Г., Журавльов А.С., Шушляпіна Н.О., Носова Я.В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – №а201500604 ;заявл. 26.01.2015 ; опубл. 25.05.2015, Бюл. №10. – 2с.

Здобувачем запропоновано формулу для розрахунку енергії дихання під час проведення ольфактометричних досліджень.

27. Пристрій для тестування респіраторних порушень нюху: пат. 110452 С2 Україна: МПКА61В 5/08(2006.01) / Аврунін О.Г., Журавльов А.С., Шушляпіна Н.О., Носова Я.В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. - №а201500603; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.06.2015, Бюл.№11. – 4с.

Здобувачем запропоновано конструкцію насадки на риноманометр типу ТНДА-ПРХ для об'єктивного визначення респіраторно-ольфакторних порушень.

28. Спосіб визначення ступеня впливу повітряного потоку на слизову оболонку носової порожнини: пат. 111311 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01), А61В 5/087 (2006.01), А61В 34/10 (2016.01),G09В 23/28(2006.01). / Аврунін О.Г., Безшапочний С.Б., Журавльов А.С., Шушляпіна Н.О., Лобурець В.В., Носова Я.В., Тимкович М.Ю., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – №а201507110; заявл. 16.07.2015 ;опубл. 26.10.2015, Бюл.№20. – 5с.

Здобувачем запропоновано метод розрахунку товщини ламінарного пограничного повітряного шару у носовій порожнині.