

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ОБ'ЄКТИВНОГО ТЕСТУВАННЯ РЕСПІРАТОРНО-ОЛЬФАКТОРНИХ ПОРУШЕНЬ

3.1 Основні положення функціональної діагностики носового дихання

Традиційно основним показником функціонального риноманометричного дослідження є коефіцієнт опору носового дихання, який визначається як відношення перепаду тисків Δp на носовій порожнині до відповідного значення витрати повітря Q .

$$A = \frac{\Delta p \left[\frac{\text{кПа}}{\text{л/с}} \right]}{Q} \quad (3.1)$$

Усереднена за часом (за кількістю дихальних циклів) величина відношення пікових значень перепаду тисків до витрати повітря Q є значущим діагностичним показником носової провідності [1]. В основі створення сучасних діагностичних пристроїв, що забезпечують проведення передньої активної (ПАРМ) або задньої активної (ЗАРМ) риноманометрії носових проходів, лежать закони і рівняння гідравліки (пневматики) – закон Паскаля [2] і рівняння нерозривності (2.9).

На рис. 3.1 наведена принципова пневматична схема системи дихання людини, де для аеродинамічних опорів, (які позначаються як дроселі) носових проходів клапана введено такі позначення:

- дросель R_r – аеродинамічний опір лівого носового проходу, як комбінація опорів по довжині і локальних уздовж правого носового проходу;
- дросель R_l – аеродинамічний опір лівого носового проходу, як комбінація опорів по довжині і локальних уздовж лівого носового проходу;
- дросель R_0 і $DP_{n.nn}$ – опори в правому носовому проході, аналогічні зазначеним для лівого проходу;
- p_{r_n} , p_{l_n} та p_{nf} – точки вимірювання тиску в правому, лівому носовому проході і носоглоткового тиску, відповідно;
- p_{r_n} і p_{l_n} – точки вимірювання тиску на вході в правий і лівий носовий проходи, відповідно.

Відповідно до розташування вимірювальних перетворювачів у пристрої ТНДА-ПРХ [1] діаграма дихального циклу за даними риноманометрії

наводиться на рис. 3,2 б. Реалізований в пристрої метод ЗАРМ передбачає вимірювання сумарної витрати повітря Q під час дихання носом через обидва носові ходи і перепади тисків Δp між атмосферним і в носоглотці (дистальний кінець вимірювальної трубки датчика тиску p_2 вводиться через ротову порожнину) згідно з рис. 3.2, а. Таким чином, згідно з напівконструктивною схемою, наведеною на рис. 3.2, б, визначення величини витрати повітря Q можна здійснити за допомогою розташованого в дифузорі типу сопла Вентурі датчика тиску p_1 , а перепад тиску на носових проходах визначається як різниця значень диференціальних датчиків тиску p_2 і p_3

$$\Delta p = p_2 - p_3,$$

що виконують вимірювання в ротовій порожнині і на вході у носові ходи (внутрішньомасковому просторі), причому $p_2 = p_{nf}$ і $p_3 = p_{r_n} = p_{l_n}$ відповідно до схеми на рис. 3.1. Перетворювачі p_1 , p_2 і p_3 вимірюють розрідження відносно атмосферного тиску (в циклі вдиху), а перетворювач p_4 – надлишковий тиск у циклі видиху для фіксації фаз дихальних циклів (у даному випадку видиху, інші перетворювачі фіксують фазу вдиху). Зважаючи на те, що перетворювачі тиску є диференціальними, можна вимірювані величини подати як $\Delta p_* = p_*$, де індекс (*) позначає будь-який з перетворювачів, що використовуються. В роботі [3] доведено, що показники перетворювача p_3 , розташованого у підмасковому просторі, можна замінити на розрахункові, залежно від характеристик використовуваного повітряного тракту риноманометра.

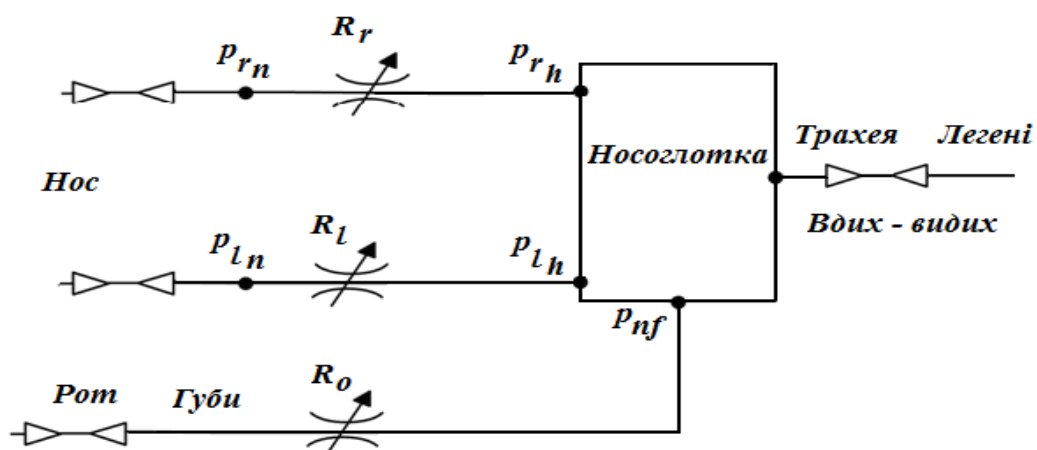


Рисунок 3.1 – Принципова пневматична схема системи дихання людини

Запропонований метод динамічної ЗАРМ передбачає вивчення стандартних показників ЗАРМ у процесі дихання (у динаміці).

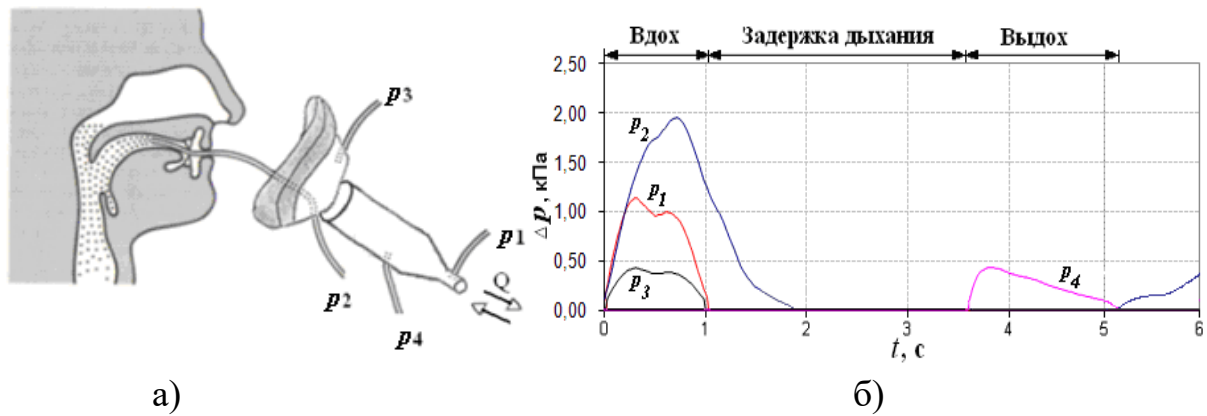


Рисунок 3.2 – Розташування вимірювальних перетворювачів у пристрої ТНДА-ПРХ (а) та відповідна діаграма дихального циклу (б) [1]

У циклі вдиху, який фіксується ненульовим значенням перетворювача тиску p_1 , встановленого у витратомірі типу сопла Вентурі, сигнали тиску перетворювачів p_1 , p_2 та p_3 фіксують розрядження, досягають максимального значення, а під час затримки дихання сигнали всіх перетворювачів дорівнюють нулю. Цикл видиху фіксується за ненульовими показниками перетворювача тиску p_1 . Показання перетворювача p_2 , що вимірює тиск у носоглотці, можуть бути відмінними від нуля при герметичному відділенні порожнини рота від носоглотки структурами м'якого піднебіння під час затримки дихання та складати близько 100 Па. Цей показник може мати діагностичну значущість під час вивчення ступеня рухливості м'якого піднебіння, наприклад, під час лікування хропіння та синдрому абструктивного апное сну [4]. Надалі розглядатиметься вивчення циклограм дихання під час дії одоривекторів.

3.2 Розробка методу тестування респіраторно-ольфакторних порушень на основі енергетичних характеристик носового дихання

Була розроблена структурна схема методу об'єктивної діагностики респіраторно-ольфакторних порушень (рис. 3.3).

Метод тестування респіраторно-ольфакторних порушень на першому етапі включає виконання підготовки до проведення процедури динамічної риноманометрії (rinoflowmetry), за якої вимірюються показники перепаду тиску Δp на носовій порожнині і витрати Q повітря під час носового дихання.

Носій одоривектора, наприклад, гігроскопічна циліндрична кільцева прокладка, просочена розчином специфічної пахучої речовини, розміщується у повітряному тракті риноманометра, як правило, на вході датчика вимірювання

витрати повітря. Як риноманометр можна застосовувати риноманометр типу ТНДА-ПРХ (ХНУРЕ, Україна [5]), ATMOS 300 (ATMOS MEDIZINTECHNIK GMBH, Німеччина) або їхні аналоги.

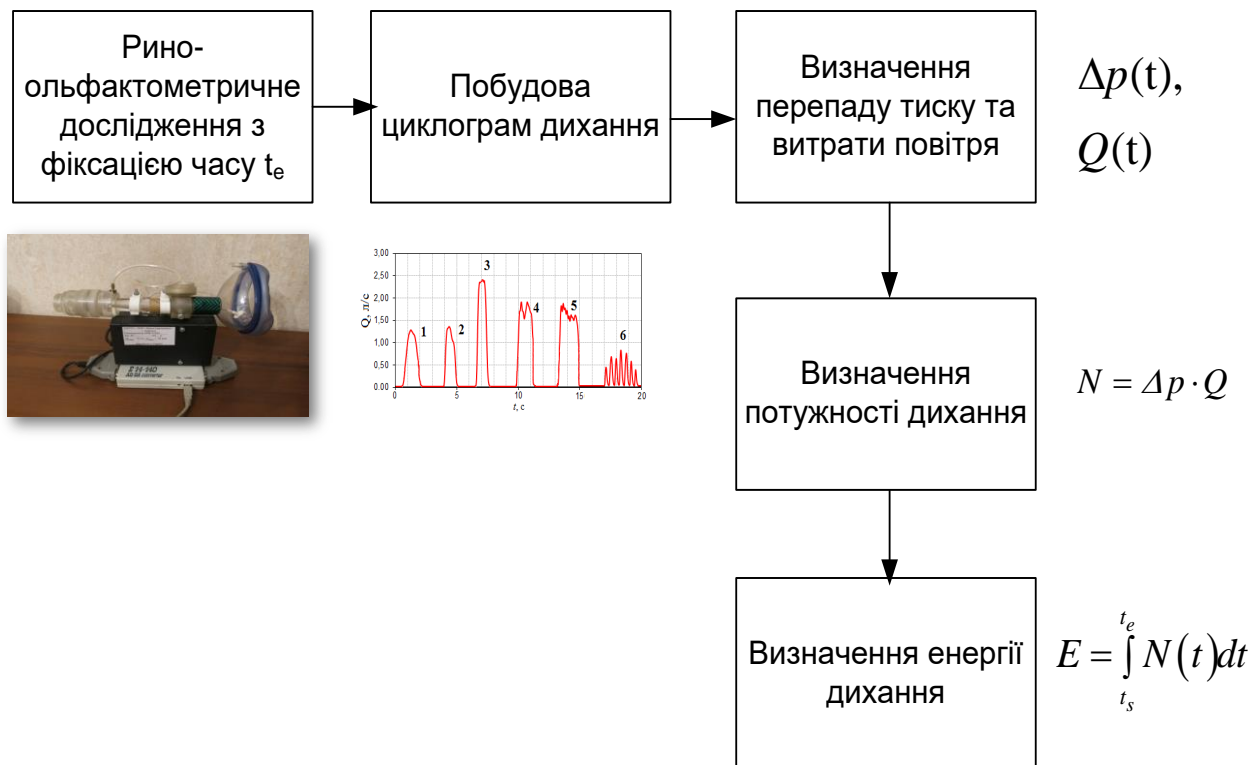


Рисунок 3.3 – Схема методу об’єктивної діагностики респіраторно-ольфакторних порушень

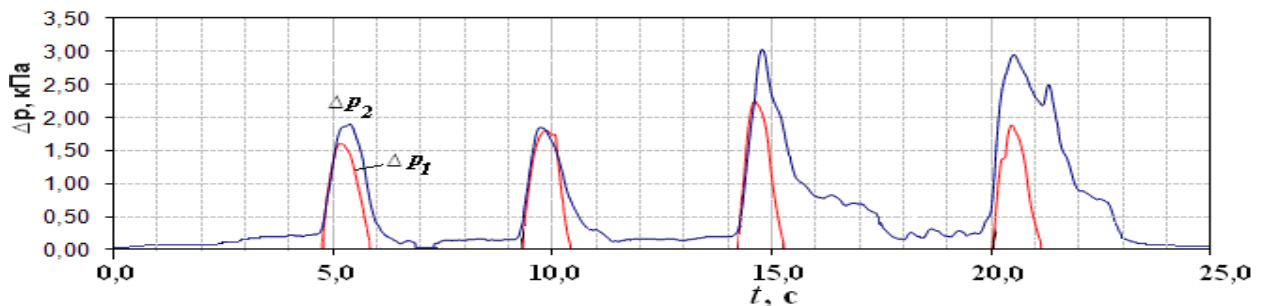
Для дослідження нюхової чутливості застосовуються три нюхові речовини різної рецепторної дії (табл. 3.1) [6]: розчин валеріани з концентрацією 0,05%, обумовлений нервом n.olfactorius, оцтова кислота 0,04%, обумовлена n.trigeminis та нашатирний спирт 0,004%, обумовлений n.glossopharyngeus.

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. Графічні матеріали, подані на рис. 3.4, 3.5, є ілюстраціями роботи комп’ютерного риноманометра ТНДА-ПРХ з ольфактометричною насадкою [1] (свідectvo про метрологічну атестацію №05-0102 від 01.04.2010). 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 3.2 [7]:

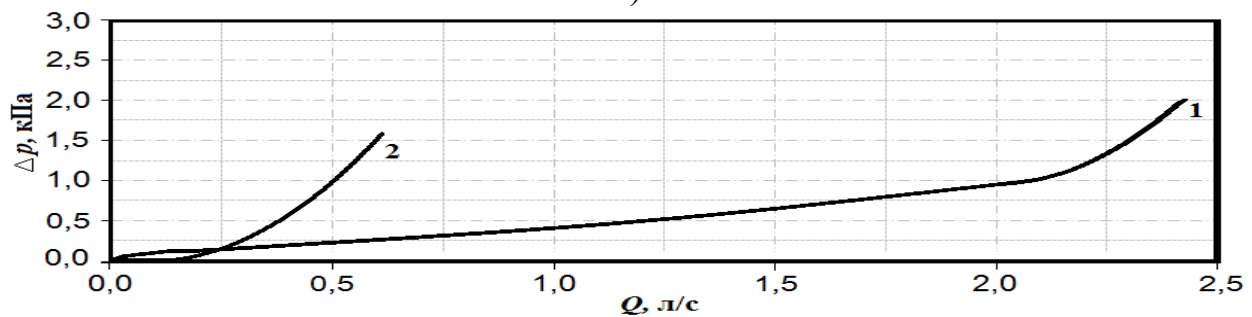
$$N(t) = \Delta p(t) \cdot Q(t) . \quad (3.2)$$

Таблиця 3.1 – Одоранти різної ольфактивної дії

I. Одоранти ольфактивної дії (речовини, які впливають на нюхові рецептори):	
1. Настоянка валеріани 2. Ванілін 3. Гвоздика 4. Водний екстракт цибулі 1:100 5. Мелена кава 6. Мелена кориця 7. Масло кропу	
II. Одоранти змішаної дії:	
1. Одоранти ольфактивно-тригемінальної дії	а) розчин нашатирного спирту; б) розчин йоду 5%; в) етиловий спирт; г) камфорна олія; д) ацетон; е) формальдегід
2. Одоранти ольфактивно-глософарингіальної дії	а) йодоформ; б) хлороформ; в) розчин оцтової кислоти
3. Одоранти ольфактивно-тригемінально-глософарингіальної дії	а) розчин оцтової кислоти вище 20%



а)



б)

Рисунок 3.4 – Залежності (а) перепаду тиску $\Delta p(t) = f(\Delta p_2(t))$ та витрати $\Delta Q(t) = f(\Delta p_1(t))$ повітря у носовій порожнині від часу та (б) графік залежності перепаду тиску від витрати повітря $\Delta p_1 = f(Q)$ у носовій порожнині в нормі (1) та при підвищеному носовому опорі (2)

Відповідні графіки пневматичної потужності під час дихання в нормі і при порушенні нюхової чутливості (із зазначенням пунктирною лінією t_e часу появи чутливості до одоривектора) наводяться на рис. 3.5.

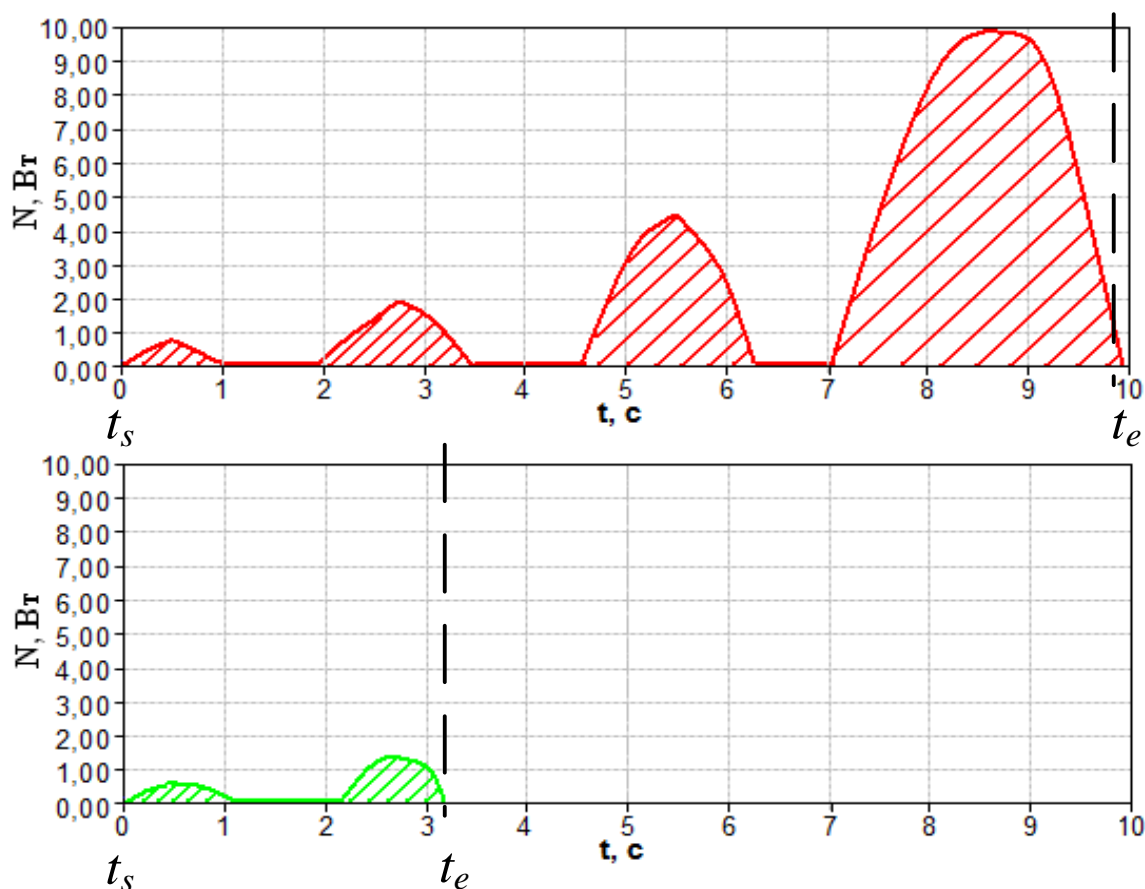


Рисунок 3.5 – Циклограми пневматичної потужності під час носового дихання: а – в нормі, б – при порушенні нюхової чутливості, внаслідок поліпозного риносинуситу

Визначення енергії E дихання, що характеризує колориметричні витрати на дихання з появою чутливості до одоривектора, виконується інтеграцією циклограми пневматичної потужності дихання за формулою 3.3 [7]:

$$E = \int_{t_s}^{t_e} N(t)dt , \quad (3.3)$$

де t_s – стартовий час дослідження, як правило, приймається рівним 0;

t_e – час появи чутливості до одоривектора.

Інтегрування виконується чисельно методом трапецій.

Експериментальним шляхом на основі проведених досліджень була розроблена класифікація ступеня порушення сприйняття запахів (рис. 3.6):

$E \leq 2$ Дж – умовно нормальний нюх;

$2 < E \leq 8$ Дж – середній ступінь дізосмії;
 $8 < E \leq 16$ Дж – важкий ступінь дізосмії;
 $E > 16$ Дж – практично повна дізосмія.

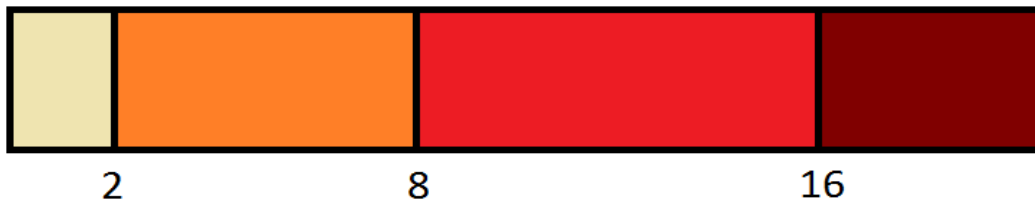


Рисунок 3.6 – Шкала нюхової чутливості

Отримані результати оцінки ступеня порушення нюхової функції людини були підтверджені додатковими лабораторними та клінічними дослідженнями, які проводили експерти в оториноларингологічному відділенні Харківської обласної клінічної лікарні [8].

Отже, за рахунок розміщення носія пахучої речовини в повітряному тракті риноманометра, а також процедур визначення енергетичних характеристик дихання, вдалося зв'язати параметри дихання з показниками нюхової функції, що, в свою чергу, дозволяє проводити ефективне респіраторно-нюхове тестування порушень на доказовому рівні.

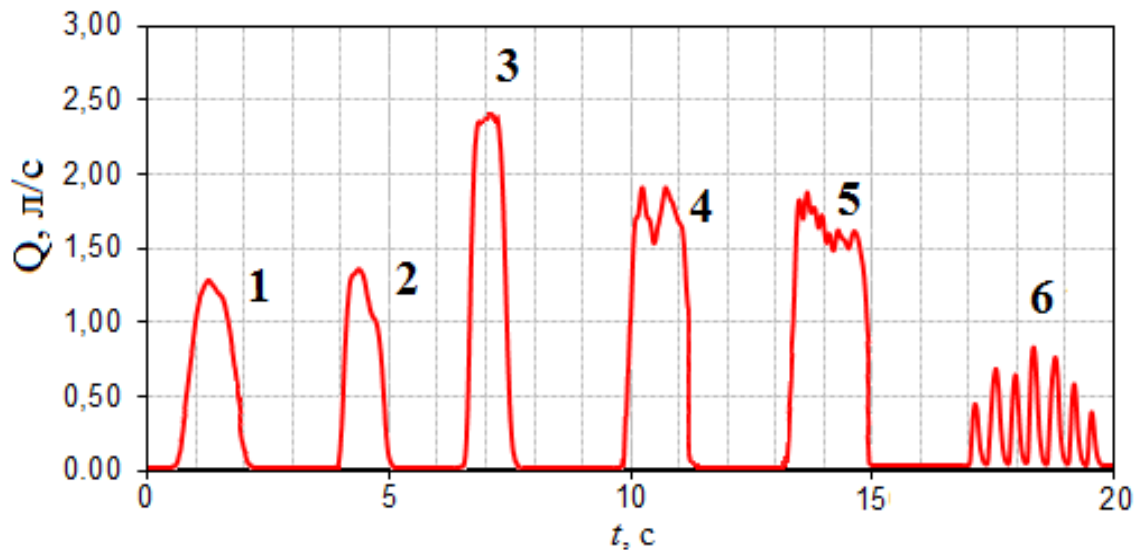
3.3 Розробка методу визначення порогу ольфакторної чутливості за рахунок аналізу форми циклограм дихання

Дослідження даних риноманометрії в динамічному режимі (з візуалізацією циклограм дихання) відкривають нові можливості під час аналізу та інтерпретації результатів тестування носового дихання [9]. Так, на рис. 3.7 для зміни витрати повітря наведені типові цикли вдиху під час спокійного дихання в нормі (1 і 2, відповідно).

У форсованому режимі дихання при ригідному носовому клапані на рис. 3.7 (3) та при носовому клапані з нормальною функціональною рухливістю, що обмежує потік повітря з характерною усіченою вершиною на циклограмі (4 та 5, відповідно), а також ступінчастий вдих (6) – коротке «потягування» повітря, яке можна охарактеризувати, як своєрідне «принюхування», що ілюструється високочастотним биттям сигналу на діаграмі витрати повітря.

З відчуттям одоривектора в нормі у випробуваного поблизу досягнення порогу відчуття (при підвищенні інтенсивності дихання) доволно короткочасно частішає дихання та з настанням порога відчуття дихальні

цикли (після четвертого дихального циклу) на рис. 3.7 перетворюються в «принюхування», що сприяє більш глибокому проникненню повітря в нюхову область та розпізнаванню запаху [8]. Цей момент часу можна характеризувати як настання порога відчуття T одоривектора (рис. 3.8).



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»

Рисунок 3.7 – Варіанти дихальних циклів

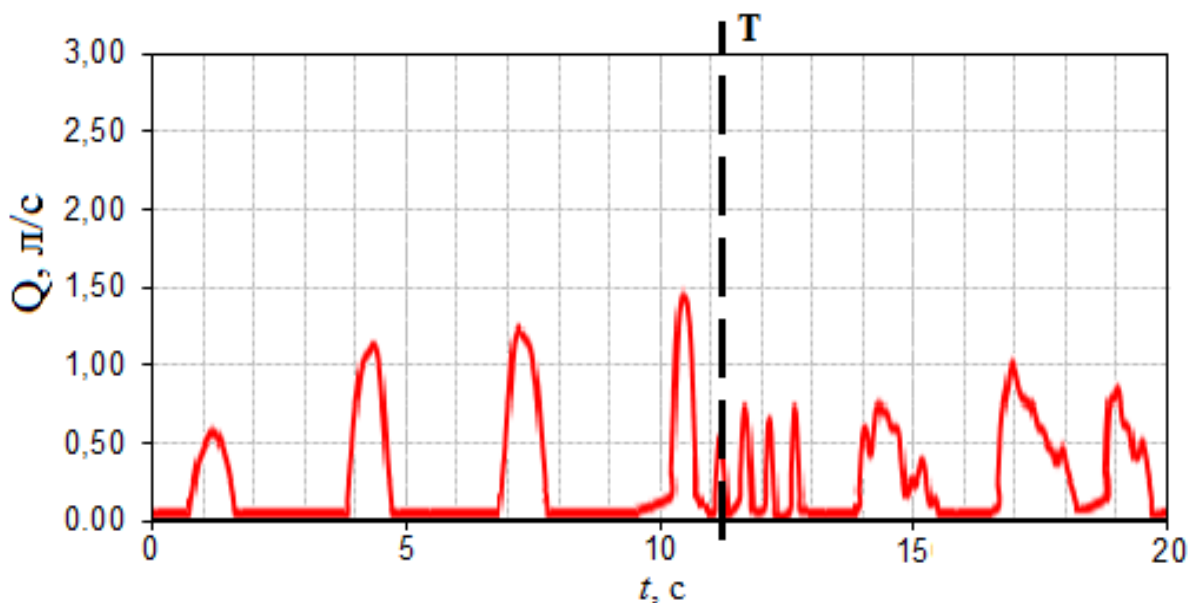


Рисунок 3.8 – Циклограма витрати повітря під час носового дихання (T – поріг відчуття)

Була розроблена структурна схема методу визначення порогу ольфакторної чутливості (рис. 3.9).

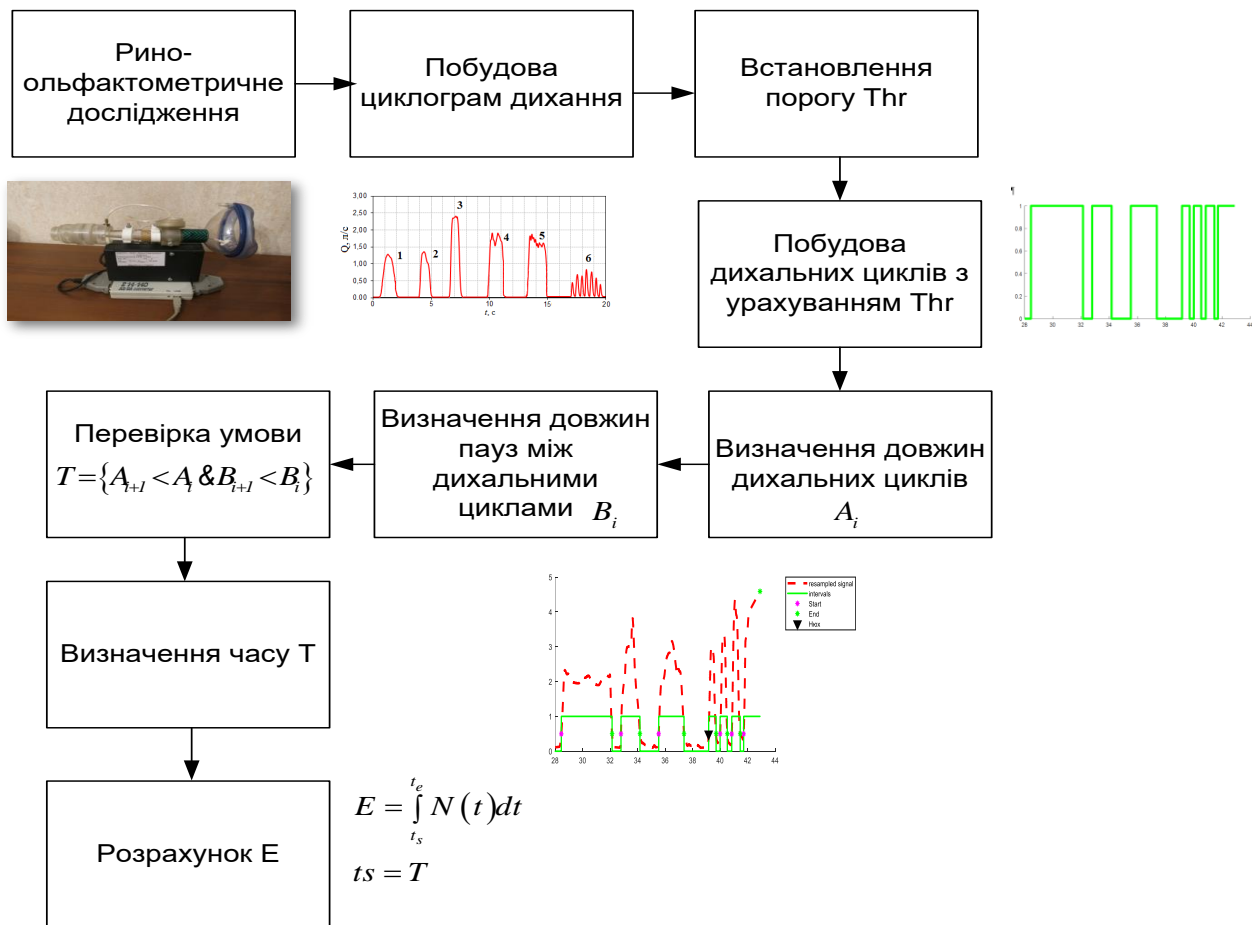


Рисунок 3.9 – Структурна схема методу визначення порогу ольфакторної чутливості

Перший блок містить рино-ольфактометричне дослідження. Його суттю на першому етапі є виконання підготовки до проведення процедури динамічної риноманометрії (rinoflowmetry), під час якої вимірюються показники перепаду тиску Δp на носовій порожнині та витрати Q повітря під час носового дихання. Носій одоривектора розміщується в повітряному тракті риноманометра, як правило, на вході датчика вимірювання витрати повітря.

Для дослідження нюхової чутливості застосовуються три нюхові речовини. Оскільки іннервація слизової оболонки носа, крім нюхового нерва, відбувається чутливими гілками очного та верхньощелепного нервів (гілки трійчастого нерва), то доцільно застосовувати одоривектори різної рецепторної дії: розчин валеріани, обумовлений нервом n.olfactorius; оцтова кислота, обумовлена n.trigeminis та нашатирний спирт, обумовлений n.glossopharyngeus.

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. При цьому досліджуваний виконує дихальні маневри з наростанням їхньої інтенсивності.

Блок цифрової обробки сигналу реалізований на основі алгоритму пошуку моментів часу реакції тестованого на одорант, що подається.

Далі в блоці цифрової обробки сигналу виконується розрахунок пневматичної потужності $N(t)$ циклограми дихання як добутка перепаду тиску та об'ємної витрати повітря, а також розрахунок енергії дихання E , характеризує колориметричні витрати на дихання з появою чутливості до одоривектора, виконується інтеграцією циклограми пневматичної потужності дихання.

Розглянемо опис роботи розробленого алгоритму на прикладі конкретного сигналу (рис. 3.10).

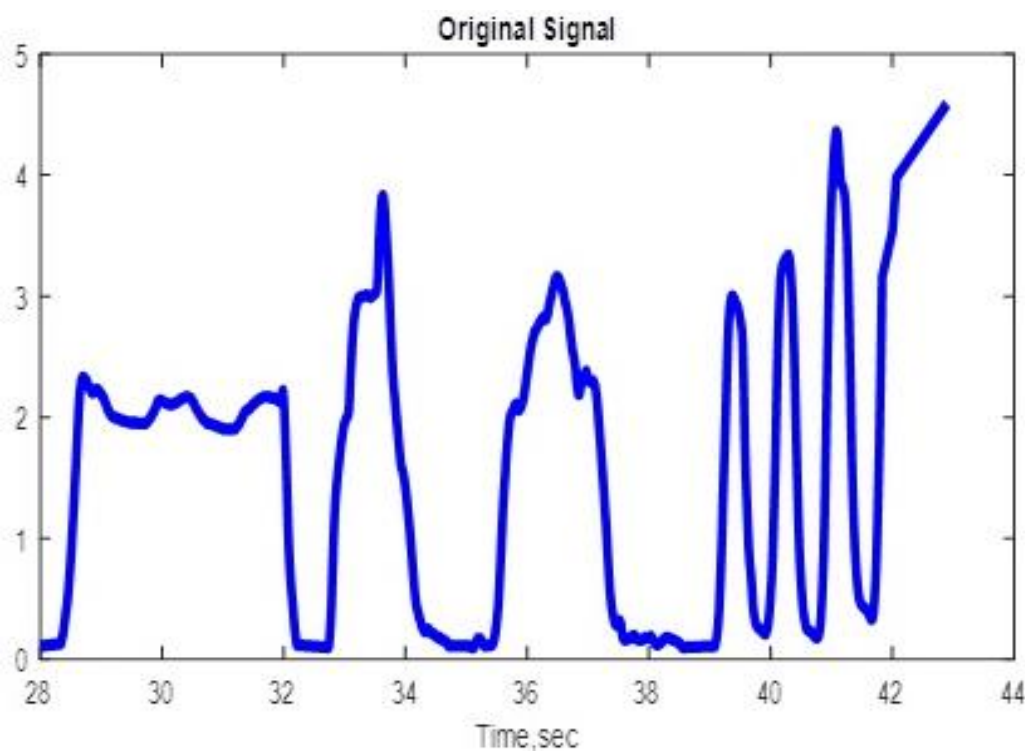


Рисунок 3.10 – Вихідний рино-ольфактометричний сигнал

Початковий етап полягає у фіксації сплющеної форми та локальних екстремумів сигналу витрати повітря під час комп'ютерної риноманометрії шляхом чисельного диференціювання сигналу витрати повітря за часом та аналізу кількості нульових значень похідної під час фази вдиху дихального циклу (при позитивному значенні сигналу витрати повітря [10]). Чисельне

диференціювання вимірюваного сигналу витрати повітря здійснюється згідно з формулою:

$$y(t) = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q(i) - Q(i-1)}{t(i) - t(i-1)},$$

де $Q(i)$ – дискретно задані i -і значення сигналу витрати повітря в моменти часу $t(i)$, $i \in [1; n]$,

n – кількість відліків сигналу витрати повітря,

Δt – часовий інтервал між відліками сигналу.

Вихідний сигнал має нерівномірну дискретизацію за часом. Проведемо передискретизацію сигналу y за рівномірною часовою шкалою t_1 з періодом дискретизації T_s , що дорівнює 0,001 с.

Для цього виконуємо процедуру лінійної інтерполяції. Вона полягає в заміні $y(t)$ лінійною функцією на основі значень $y(t)$ в двох точках. Для двох сусідніх точок лінійна інтерполяція задається рівнянням:

$$y = y_0 + [(t - t_0)(y_1 - y_0)] / (t_1 - t_0).$$

Лінійна інтерполяція носить локальний характер і використовується для знаходження значень $y(t)$ на відрізку $[t_{i-1}; t_i]$, де $i = 1, 2, \dots, N$. В результаті інтерполяції отримуємо новий сигнал $t_1(y_1)$.

Задаємо поріг $Thr = 0,5$, за яким відсікатимемо сигнал для визначення дихальних періодів. Виконуємо пошук періодів дихання, де значення сигналу перевищують заданий поріг (рис. 3.11). Для цього в циклі по всіх точках y_1 ($i = 1: N$, де N – кількість точок у масиві y_1) перевіряємо умову перевищення i -ю точкою сигналу порога Thr .

У разі виконання умови, змінній Act_i присвоюємо значення 1, в іншому випадку – значення 0. Таким чином, формуємо новий масив значень.

$$Act(i) = \begin{cases} 1; & y_1(t_1) > 0,5 \text{ л/с} \\ 0; & \text{у протилежному випадку.} \end{cases}$$

Виконуємо процедуру пошуку точок початку періодів дихання шляхом перебору всіх точок масиву Act . Якщо точка масиву Act рівна нулю, а наступна дорівнює одиниці, то ця точка і є початком шуканого періоду дихання. Таким чином, формуємо масив St .

Виконуємо пошук точок кінця періодів дихання риноманометричного сигналу аналогічним чином. В процесі перебору всіх точок масиву Act перевіряємо таку умову: якщо поточна точка дорівнює одиниці, а наступна

дорівнює нулю, то ця точка є кінцем періоду дихання. Знайдені точки кінця періоду дихання оброблюваного сигналу записуємо в масив *Fin*.

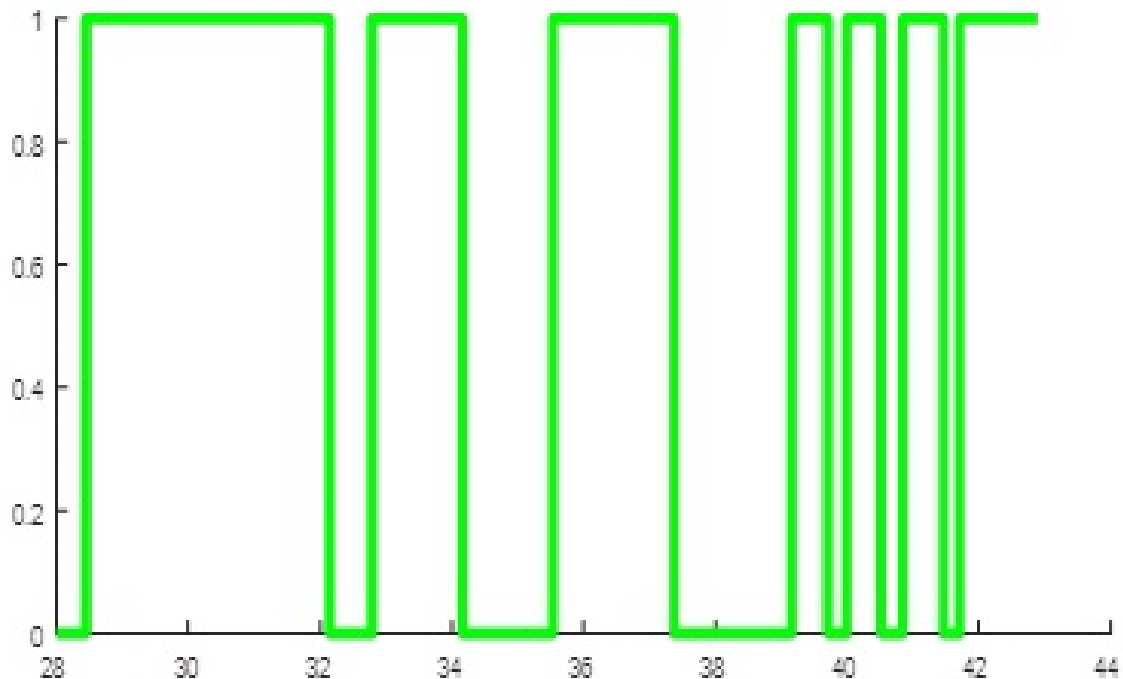


Рисунок 3.11 – Ілюстрація побудови імпульсів, що відповідають дихальним періодам

Необхідно передбачити випадок, коли сигнал переривається, та останній дихальний період не має кінцевої точки, тобто довжина масиву з точками початку періодів дихання (*St*) буде більше довжини масиву з точками кінця періодів дихання (*Fin*), тоді вважатимемо останню точку сигналу кінцем останнього періоду дихання.

Довжина періодів дихання у відліках визначається різницею між точками кінця та початку відповідного періоду. Для побудови графіка у часовій шкалі необхідно помножити значення довжини у відліках на період дискретизації. Далі обчислюємо довжини пауз між періодами дихання у відліках та аналогічним чином множимо результат на період дискретизації. Довжина паузи визначається різницею між точкою початку поточного періоду і точкою кінця попереднього періоду дихання.

Далі знаходимо точку *b*, яка відповідає порогу відчуття запаху. Умова знаходження порога сприйняття запаху визначається таким виразом:

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

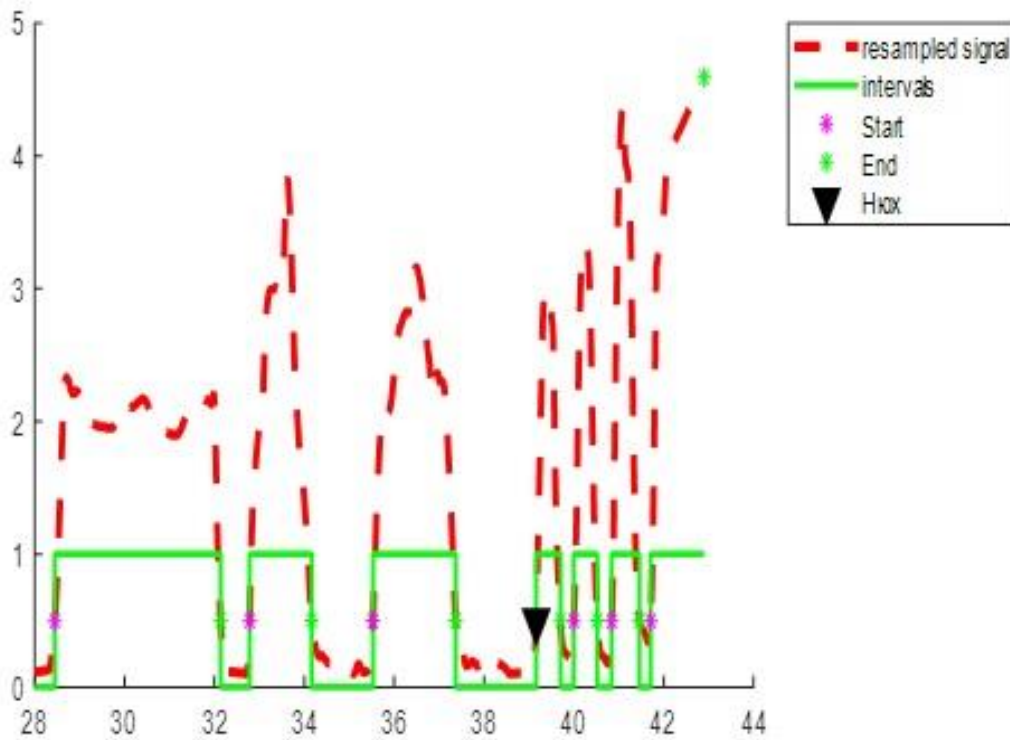
де A_{i+1} – ширина $(i + 1)$ -го періоду дихання;

A_i – ширина i -го періоду дихання;

B_{i+1} – довжина $(i + 1)$ -ї паузи між періодами дихання;

B_i – довжина i -ї паузи між періодами дихання;

b – точка початку i -го періоду дихання, що відповідає порогу сприйняття запаху (рис. 3.12).



«Випробуване сприйняття запаху на 39.16 секунді»

Рисунок 3.12 – Результати роботи блоку цифрової обробки рино-ольфактометричного сигналу

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

Розроблено структурну схему методу визначення порогу ольфакторної чутливості. Встановлено, що для визначення порогу нюхової чутливості доцільно використовувати розроблений метод автоматизованого визначення порогу відчуття одоривектора. Метод заснований на аналізі циклограми дихання, а саме, пошуку моментів часу, за якого у випробуваного довільно короткочасно частішає дихання. Даний поріг відповідає реакції випробуваного на запах, що подається під час рино-ольфактометричної оцінки нюхової чутливості людини.

Удосконалення методу полягає у визначенні порога ольфакторної чутливості, що дозволяє за рахунок аналізу форми циклограми носового дихання підвищити об'єктивність діагностики порушень нюхової чутливості або респіраторно-нюхових порушень.

3.4 Оцінка точності класифікації респіраторно-ольфакторних порушень на основі застосування апарату нечіткої логіки

Математична теорія нечітких множин (fuzzysets) і нечітка логіка (fuzzy logic) є узагальненнями класичної теорії множин і класичної формальної логіки. Дані поняття були вперше запропоновані американським вченим Лотфі Заде (Lotfi Zadeh) в 1965 р. Основною причиною появи нової теорії стала наявність нечітких і наближених міркувань в ході опису людиною процесів, систем, об'єктів. Перш, ніж нечіткий підхід до моделювання складних систем отримав визнання у всьому світі, пройшло не одне десятиріччя з моменту зародження теорії нечітких множин. І на цьому шляху розвитку нечітких систем прийнято виділяти три періоди [11].

Перший період (кінець 60-х – початок 70-х рр.) характеризується розвитком теоретичного апарату нечітких множин (Л. Заде, Е. Мамдані, Р. Беллман). У другому періоді (70 – 80-ті роки) з'являються перші практичні результати в області нечіткого управління складними технічними системами (парогенератор з нечітким керуванням). Водночас стала приділятися увага питанням побудови експертних систем, побудованих на нечіткій логіці, розробці нечітких контролерів. Нечіткі експертні системи для підтримки прийняття рішень знаходять широке застосування в медицині та економіці.

У третьому періоді, який триває з кінця 80-х років і дотепер, з'являються пакети програм для побудови нечітких експертних систем, а області застосування нечіткої логіки помітно розширюються. Вона застосовується в автомобільній, аерокосмічній та транспортній промисловості, в області виробів побутової техніки, у сфері фінансів, аналізу і прийняття управлінських рішень та багатьох інших.

Тріумфальний хід нечіткої логіки світом почався після доведення в кінці 80-х років Бартоломеєм Коско знаменитої теореми FAT (Fuzzy Approximation Theorem). У бізнесі і фінансах нечітка логіка отримала визнання після того, як у 1988 році експертна система на основі нечітких правил для прогнозування фінансових індикаторів єдина передбачила біржовий крах. І кількість успішних фаззі-застосувань в цей час обчислюється тисячами.

Не залишилися осторонь від цікавого й сучасного напрямку дослідники в галузі баз даних. Розробляється нечітка реляційна алгебра й спеціальні розширення структурованої мови (SQL) для нечітких запитів. У цій області інтенсивні дослідження проводять європейські вчені Д. Дюбуа й Г. Праде. Формується перспективний напрямок у сучасних системах обробки інформації – нечіткі запити до баз даних (fuzzyqueries) [11].

У цьому контексті можна розглядати два основних питання, найбільш актуальних на сьогодні: як проектувати, де та у яких структурах зберігати нечіткі дані систем такого класу. Вирішення цих проблем відкриє шляхи інтеграції реляційних баз даних, що накопичили колосальні обсяги інформації, і систем на основі нечіткої логіки.

Розглянемо класичний підхід до побудови реляційного відношення, запропонований Е.Ф. Коддом, і визначимо основні властивості відношень при розширенні множини доменів [12].

Основним структурним компонентом даних у реляційній моделі даних (РМД) є n -арне відношення, що є підмножиною кортежів декартового добутку доменів, тобто множини значень елементів даних. Для заданих кінцевих множин D_1, \dots, D_n (не обов'язково різних за типом) декартовим добутком $D_1 \times \dots \times D_n$ називається множина добутків виду d_1, \dots, d_n , де $d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n$. Відношенням R , визначеним на множинах D_1, \dots, D_n , називається підмножина добутку (декартовий добуток) $D_1 \times \dots \times D_n$, тобто $R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$. Множина $D = \{D_1, \dots, D_n\}$ називається доменом.

Домени – це однотипні семантично однозначні (однакові за змістом) значення елементів даних. Елементи декартового добутку d_1, \dots, d_n називаються кортежами, число n визначає ступінь відношення; кількість кортежів визначає потужність відношення.

Нехай $a = \{a_1, \dots, A_n\}$ – множина імен, тоді однозначне відображення виду $\rho: A_i \rightarrow D_i$, де пару $A_i = \langle \rho(A_i), D_i \rangle$ називають атрибутами відношення. Схемою відношення R називатимемо вираз $S(A_1, \dots, A_n)$, в якому всі атрибути A_i різні. При цьому екземпляр відношення $R(S)$ визначається як підмножина декартового добутку доменів $r_i \subseteq \rho(A_i) \times \dots \times \rho(A_n)$. Екземпляр відношення зі схемою R_i позначатимемо як $R_i(r_i)$. Зазначимо, що перестановка атрибутів у схемі не породжує нового стану БД. Таким чином, множина атрибутів $\{A_1, \dots, A_n\}$ завдає тип відношення й визначає його властивості.

Схему БД позначатимемо як множину схем відношень $U = \{R_1, \dots, R_n\}$, де $R_i \in R$ і всі R_i різні. Відповідно, екземпляр БД позначатимемо множиною екземплярів відношень $U(r_1, \dots, r_n)$. Концептуально реляційна БД є інформаційною моделлю предметної області (ПО), такою, що кожний екземпляр відповідає стану ПО у певний момент часу. Кожний стан моделюється впорядкованою сукупністю значень елементів даних, що відповідають значенням властивостей об'єктів ПО. Об'єкту певного типу відповідає кортеж відношень.

Для задач аналізу даних визначимо додатковий тип відношень, що визначає приналежність існуючих даних до деякого заданого числового відрізка, що характеризує інформаційний об'єкт – відношення фаззифікації. Будь-яку лінію на координатній площині можна подати у вигляді бінарного відношення, де $Dom R$ визначається значеннями осі абсцис, а $Im R$ визначається значеннями осі ординат. У задачі фаззифікації діаграма містить три показники, які необхідно враховувати в ході формування відношення [13].

Під нечіткою змінною розумітимемо набір (N, X, Y) , де N – назва змінної, X – область міркувань, Y – нечітка множина на X . Використовуючи таке визначення, задамо три домени, що відповідають елементам змінної. Нехай $N = \{n_1, \dots, n_m\}$, $Y = \{0, 0.1, \dots, 1\}$, $X = \{x_0, \dots, x_k\}$. Значення X і Y відповідають обраній шкалі дискретизації координатних осей і описують область належності до параметра N . Для кожного параметра N робимо вибірку даних за значеннями X і будуємо діаграму належності, наведену на рис. 3.13.

Для розглянутого випадку визначимо відповідні домени для подання нечіткої змінної.

$$D_1 = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_m\};$$

$$D_2 = \{x_0, \dots, x_8, x_9, \dots, x_{14}, \dots, x_i, \dots, x_{20}, \dots, x_{30}, \dots, x_m\};$$

$$D_3 = \{0, 0.1, \dots, 1\}.$$

Задамо множину імен доменів і побудуємо відображення. Для множини імен $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ відображення $\rho : (A_1 \rightarrow D_1; A_2 \rightarrow D_2; A_3 \rightarrow D_3)$ визначають множину атрибутів $A = \{A_1, A_2, A_3\}$ і відповідну схему відношення $S(A_1, A_2, A_3)$. Структура відношення R^f у табличному вигляді називатиметься відношенням фаззифікації. Можливі перетини діаграм фаззифікації визначають той факт, що всі значення можуть повторюватися відносно одне одного [14]. Таким чином, можна говорити про відношення, що містить повний набір

кортежів декартового добутку доменів $D_1 \times D_2 \times D_3$ (повний декартовий добуток, у цьому випадку, визначається скінченністю значень системи координат). Виходячи із цього факту, можна визначити, що ключем відношення буде множина всіх атрибутів $K = \{A_1, A_2, A_3\}$.

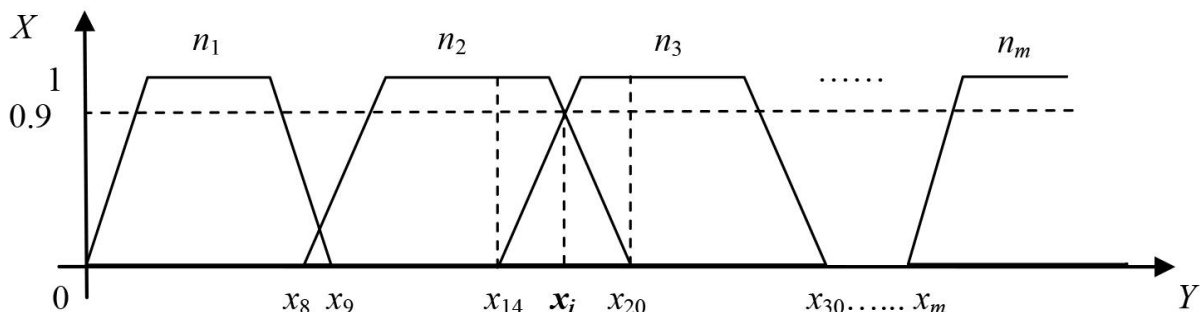


Рисунок 3.13 – Розподіл кількості захистів дисертацій по регіонах

Очевидно, що інформативність кортежів визначається значеннями на діаграмі фаззифікації. У розглянутій задачі необхідно враховувати ще один показник – множину значень вибірки із БД, для якої будується діаграма. Тобто необхідно встановити зв'язок між доменом відношення R^f , що відображує значення осі абсцис і доменом із БД, що відображує значення параметрів фаззифікації.

Таким чином, наступна задача, яку необхідно розглянути, пов'язана з інтеграцією відношення R^f із БД, що зберігає основні показники. Розглянемо задачу в загальному вигляді. Нехай $U(R_1, \dots, R_n)$ – БД, що зберігає основні дані, $R^f(A_1, A_2, A_3)$ – відношення фаззифікації. Задача має сенс, якщо в БД U існує параметр, для якого виконана фаззифікація [15, 16].

Щоб організувати спільну роботу з базами даних U і R , формалізуємо процедуру інтеграції, спираючись на поетапну нормалізацію. Структура БД U отримана на підставі функціональних залежностей $F = \{M_i \rightarrow N_i\}$, де $M_i, N_i \in U$. Виділимо одну залежність, яка містить атрибут з параметрами фаззифікації, і позначимо її як $W \rightarrow V$, причому W і V можуть бути множинами. Відношення R^f містить одну залежність виду $F' = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1, A_2, A_3\}$. Спираючись на аксіоми виводу, можна отримати еквівалентну множину

$$F' = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_2; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_3\}.$$

Нехай параметр фаззифікації відповідає атрибуту A_2 , тоді для визначення типу зв'язку необхідно отримати множину $F = F \cup F'$ і розглянути два випадки, що впливають на правила нормалізації.

1. $A_2 \in W$ – пошук неповних залежностей: якщо виконуються функціональні залежності $\xi \rightarrow \zeta$ і $\omega \rightarrow \zeta$, причому $\omega \subseteq \xi$, тоді залежність $\omega \rightarrow \zeta$ є неповною.

2. $A_2 \in V$ – пошук транзитивно залежних елементів: якщо виконуються функціональні залежності $\xi \rightarrow \omega$ і $\omega \rightarrow \zeta$, тоді елемент ζ є транзитивно залежним.

Існування таких залежностей дозволить виконати коректну декомпозицію й встановити зв'язок між базами даних U і R^f .

Якщо $A_2 = W$ або $A_2 = V$, то процес декомпозиції призводить до другої або третьої нормальної форми. Якщо рівняння не виконуються, то неможливо організувати підтримку однозначності зв'язаних даних, оскільки асоціація між відношеннями відповідатиме типу «багато-до-багатьох».

Як правило, на практиці умови рівняння не виконуються і для нормалізації необхідно виділити базис F і повторити процедуру декомпозиції. Враховуючи той факт, що структура БД не має змінюватися, необхідно зв'язати відношення фаззифікації R^f і БД U без реструктуризації схеми даних [17–18].

Для усунення зв'язку « $N:N$ » запровадимо додаткову сполучну сутність, яка вирішить проблему цілісності даних за рахунок визначення нових типів зв'язків. «Сутність-зв'язок» міститиме один атрибут, сполучний для R^f і U , причому з об'єктивних причин він буде ключовим. На рис. 3.14 показано діаграму інтеграції БД і відношення фаззифікації з підтримкою однозначності зв'язку.



Рисунок 3.14 – Усунення зв'язку «багато-до-багатьох»

Виходячи з опису концептуальної схеми ПО можна бачити, що для коректного з'єднання R^f і U необхідно побудувати проміжну таблицю. Такий підхід гарантує погодженість даних для будь-яких параметрів фаззифікації.

Покажемо, що для даної задачі цілком коректні результати під час виконання з'єднання відношень з асоціацією типу « $N:N$ ». Можливі значення атрибута $A_1 \in U$ можуть повторюватися стільки разів, скільки це значення перетинає границі діаграми фаззифікації по осі ординат. Тобто кожному

значенню атрибута A_1 відповідає рядок унікальних даних. Якщо A_1 не є ключем, і значення повторюються, то, за визначенням множини, у рядку має бути хоча б одне відмінне значення. У термінах розв'язуваної задачі необхідно аналізувати всі такі рядки. В атрибуті A_1 відношення R^f також повторюються значення, які необхідно проаналізувати, причому в різних комбінаціях.

Таким чином, у загальному вигляді для аналізу даних, що накопичуються в реляційних базах даних, достатньо побудувати відношення фаззифікації й встановити зв'язок з атрибутом (атрибутами), за значеннями якого необхідно провести відповідний аналіз [19–21].

Прогнозування на базі нечіткої логіки дозволяє здійснити опис причинно-наслідкових зв'язків між вхідними показниками і конкретним прогнозом або діагнозом у вигляді висловлювань природною мовою, і, отже, дає можливість провести логічну формалізацію експертного висновку. Тому методи нечіткої логіки знайшли широке застосування в різних галузях медицини, наприклад, у кардіології для визначення локалізації інфаркту [22, 31].

Особливістю лінгвістичних змінних, які використовуються в медицині, є повна відсутність їхнього числового значення.

Наприклад, при болі в спині, пацієнт описує свої відчуття словами типу «сильна біль», які важко формалізувати і виміряти. Традиційно в математиці використовують чітку (чітко визначену) властивість $P(x)$, тобто властивості, які є або істинними, або хибними. Кожна властивість задає множину: $\{x \mid x \text{ має властивість } P\}$. В 1965 р. Л. Заде запропонував теорію, що пояснює, як формалізувати «нечіткі» властивості: чітка властивість P може бути описана характеристичною функцією $\mu : X \rightarrow \{0,1\}$. Нечітку властивість можна описати як функцію μ (функція приналежності): $X \rightarrow [0,1]$. Значення $\mu(x)$ вказує ступінь, в якій x має властивість (наприклад, якому саме x відповідає ступінь болю) [23].

Приклад подання значення «висока температура» в медичній науці як нечіткого набору показано на рис. 3.15.

На рисунку 3.15 показано:

а) якщо x більше, ніж 39°C , то функція приналежності $\mu(x)$ медичної концепції «Висока температура» дорівнює 1, тобто це означає, що x має «високу температуру»;

б) якщо x менше $38,5^\circ\text{C}$, то функція приналежності $\mu(x)$ медичної концепції «Висока температура» дорівнює 0, тобто це означає, що x , безумовно, не «висока температура»,

в) якщо x знаходиться в інтервалі $[38.5^{\circ}\text{C}, 39^{\circ}\text{C}]$, то x має властивість «висока температура» з деякою мірою на інтервалі $[0,1]$.

Крім того, набір значень змінної часто залежить від суб'єктивного сприйняття лікаря. В роботі [15] пропонується використовувати нерівномірний розподіл значень лінгвістичних змінних за числовою шкалою, з урахуванням їхньої інформативності під час створення медичних інтелектуальних систем прийняття рішення.

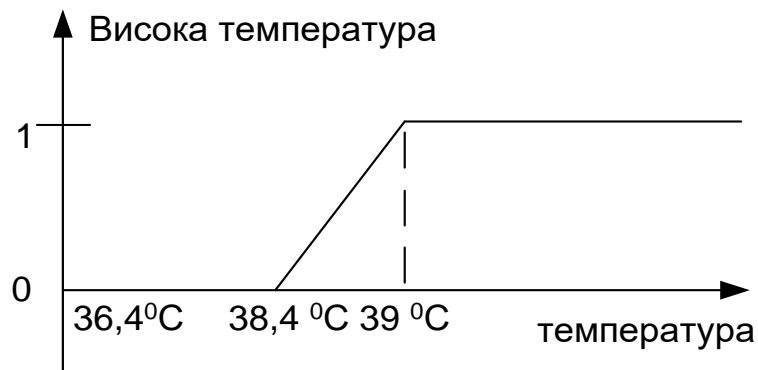


Рисунок 3.15 – Приклад подання функції належності терму «висока температура»

Також апарат нечіткої логіки використовують для перевірки точності класифікації. В роботі [22] проводили тестування електронного носа для восьми різних газів: бутанола, оцтової кислоти, ацетону, бензолу, хлороформу, дихлорметана, етилацетату та сірчаної кислоти. Експериментальні результати показали, що точність класифікації з використанням нечіткого логічного підходу може бути отримана до 93,75%. Надалі такий підхід може бути застосований до інших проб газу для перевірки точності класифікації газів електронним носом.

Отже, застосування лінгвістичних змінних та нечіткої логіки в медицині є ефективним інструментом для підвищення якості та об'єктивності діагностики дихально-нюхових порушень [27].

Словесні суб'єктивні відповіді пацієнта за ступенем сприйняття запаху можна подати у вигляді суб'єктивних категорій. Наприклад, «погано», «добре», «слабко», «відмінно», «не відчувається» запах під час проведення ольфактометричного дослідження. Таким чином, має місце лінгвістична невизначеність, пов'язана з неточністю опису шуканої величини – нюхова чутливість. Тому доцільно процес сприйняття запаху людиною подати у вигляді структури нечіткої логіки.

Авторами проводилися дослідження за допомогою пристрою для тестування респіраторних порушень нюху [5]. Робота виконувалася в рамках співпраці між кафедрою біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки та кафедрою оториноларингології Харківського національного медичного університету.

Під час дослідження нюхової функції людини пацієнтові пропонують понюхати кілька різних одоривекторів. Пацієнт виконує дихальні маневри з поступовим збільшенням їхньої інтенсивності та фіксує час появи порога відчуття одоривектора. Далі виконуються розрахунки пневматичної потужності та енергії дихання. Спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень передбачає застосування трьох одоривекторів: нашатирний спирт, оцтова кислота, настоянка валеріани [28].

Таким чином, для моделювання структури нечіткого логічного висновку пропонується використовувати три вхідні лінгвістичні змінні та одну вихідну.

Лінгвістична змінна є кортежем виду:

$$\langle \beta, T, X, G, M \rangle,$$

де β – найменування змінної,

T – множина значень лінгвістичної змінної, яка складається з найменувань нечітких змінних;

X – область визначення лінгвістичної змінної;

G – синтаксична процедура, що дозволяє генерувати з множини нові осмислені значення;

M – семантична процедура, що дозволяє поставити у відповідність отриманим за допомогою процедури новим значенням деяку нечітку множину [11].

Як вхідні параметри системи нечіткого виводу використовуватимемо такі лінгвістичні змінні: «одоривектор_1», «одоривектор_2», «одоривектор_3», а як вихідні параметри – нечітку лінгвістичну змінну «нюхова_чутливість».

Як терм-множину вхідних лінгвістичних змінних використовуватимемо множину $T1 = \{\text{відмінно, добре, слабо, не_відчувається}\}$, що відповідає ступеню відчуття одоривектора обстежуваним.

Структура нечіткої моделі оцінки ступеня порушення нюхової функції наведена на рис. 3.16.

Як терм-множину для вихідної лінгвістичної змінної використовуватимемо множину $T2 = \{\text{«висока», «середня», «низька», «відсутня»}\}$.

Область визначення лінгвістичних змінних [0 – 30] Дж. Синтаксичні та семантичні процедури не використовуються.

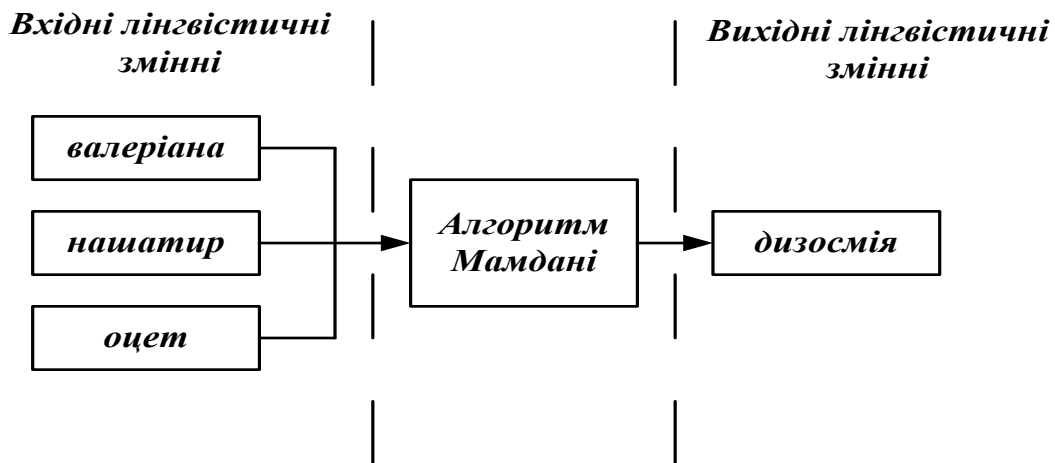


Рисунок 3.16 – Структура моделі нечіткого виводу «ольфактометрія»

3.5 Вибір параметрів моделі нечіткого логічного виводу

Моделювання проводили за допомогою алгоритму Мамдані, оскільки для задач, де більш важливим є пояснення, обґрунтування прийнятого рішення, відповідно до роботи С.Д. Штовби [17] матимуть перевагу нечіткі моделі типу Мамдані порівняно з використанням нечітких моделей типу Сугено.

В системах, де використовується алгоритм Мамдані, зазвичай застосовуються такі параметри [24–26]:

- для кон’юнкції – операція мінімуму;
- для диз’юнкції – операція максимуму;
- для імплікації – операція мінімуму;
- для агрегації – операція максимуму;
- для дефаззифікації – метод центру тяжіння(3.4).

$$T(A \wedge B) = \min \{T(A), T(B)\};$$

$$T(A \vee B) = \max \{T(A), T(B)\};$$

$$T(A \supset B) = \min \{T(A), T(B)\};$$

(3.4)

$$y = \frac{\max \int x \cdot \mu(x) dx}{\min \int \mu(x) dx}.$$

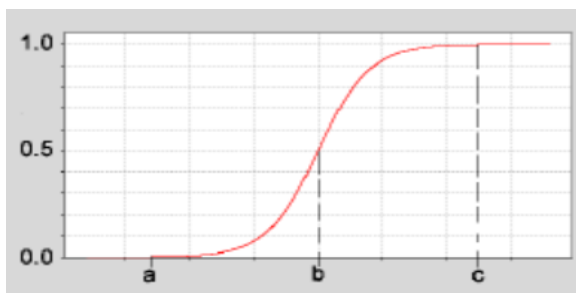
де y – результат дефаззифікації;

x – змінна, відповідна до вихідної лінгвістичної змінної «нюхова_чутливість»;

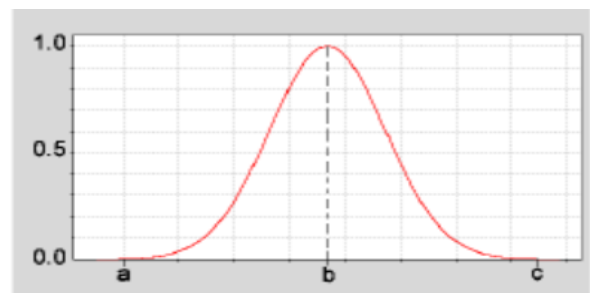
$\mu(x)$ – функція приналежності нечіткої множини, відповідної вихідній змінній «нюхова_чутливість» після етапу акумуляції;

\min та \max – ліва і права точки інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної «нюхова_чутливість».

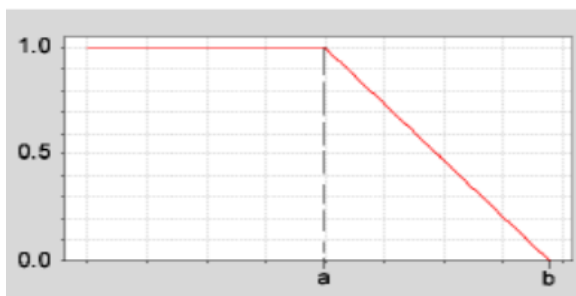
Відповідно до робіт М.В. Бурцева, А.І. Поворознюка [19] необхідно використовувати функцію приналежності t -, π - або T -класу, оскільки переважна більшість об'єктів знаходиться в певному обмеженому інтервалі (рис. 3.17).



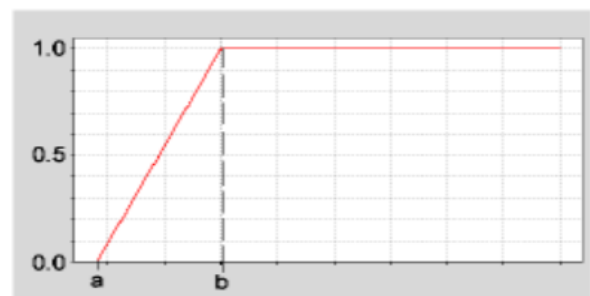
а)



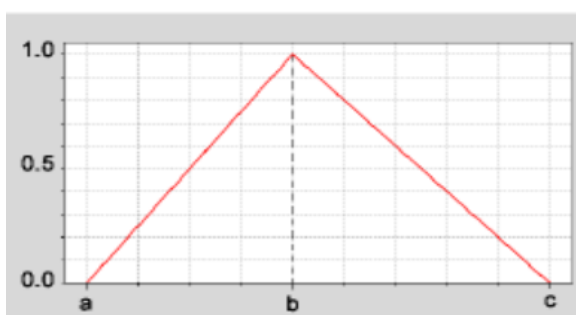
б)



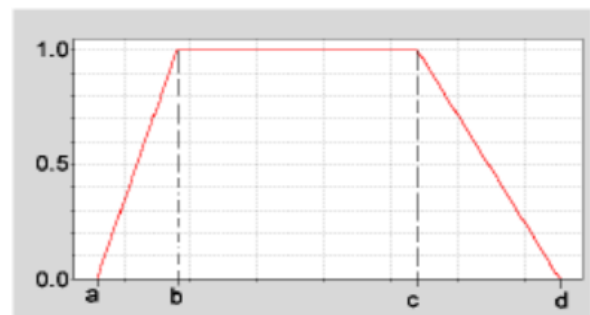
в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд функцій приналежності [28, 29]

а) s -клас; б) π -клас; в) L -клас; г) γ -клас; д) t -клас; е) T -клас

Формалізацію термів здійсимо за допомогою симетричної гауссівської функції приналежності (3.5) прямим методом побудови.

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (3.5)$$

де x – змінна,

$\mu(x)$ – функція приналежності,

b, c – параметри.

У прямих методах побудови функцій приналежності експерт або група експертів задають для кожного $x \in X$ значення функції приналежності $\mu(x)$. У подальшому функція приналежності може бути уточнена дослідним шляхом на основі аналізу результатів вирішення конкретних завдань [17].

Функції приналежності термів вхідних лінгвістичних змінних наведено на рисунку 3.18.

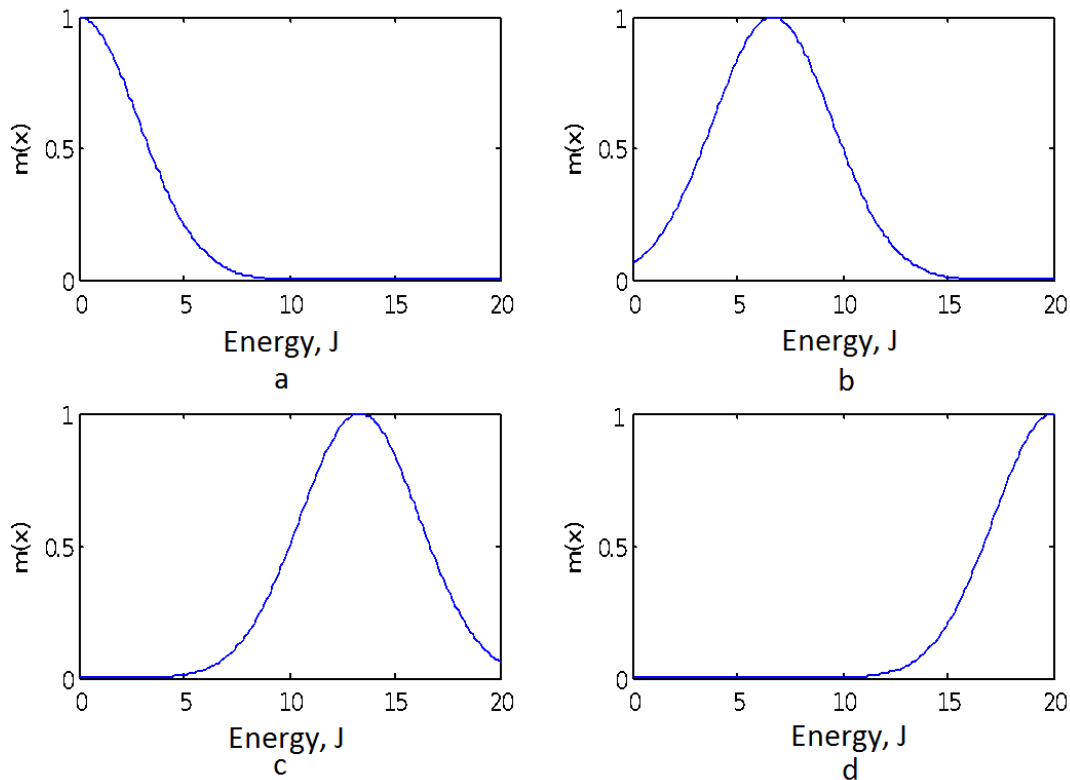


Рисунок 3.18 – Функції приналежності термів
(a – «відмінно», b – «добре», c – «слабко», d – «не_відчувається»)
вхідних лінгвістичних змінних

Розроблена база правил нечітких продукцій містить 10 пунктів, вагові коефіцієнти рівні 1:

1. ЯКЩО «одоривектор 1 відмінно» І «одоривектор 2 відмінно» І «одоривектор 3 відмінно» ТО «чутливість нюху висока».
2. ЯКЩО «одоривектор 1 добре» І «одоривектор 2 добре» І «одоривектор 3 добре» ТО «чутливість нюху середня».

3. ЯКЩО «одоривектор 1 слабо» І «одоривектор 2 слабо» І «одоривектор 3 слабо» ТО «чутливість нюху низька».
4. ЯКЩО «одоривектор 1 не_відчувається» І «одоривектор 2 не_відчувається» І «одоривектор 3 не_відчувається» ТО «чутливість нюху відсутня».
5. ЯКЩО «одоривектор 2 не_відчувається» І «одоривектор 3 не_відчувається» ТО «чутливість нюху низька».
6. ЯКЩО «одоривектор 2 не_відчувається» АБО «одоривектор 3 не_відчувається» ТО «чутливість нюху середня».
7. ЯКЩО «одоривектор 1 не_відчувається» І «одоривектор 2 не_відчувається» ТО «чутливість нюху низька».
8. ЯКЩО «одоривектор 1 не_відчувається» АБО «одоривектор 2 не_відчувається» ТО «чутливість нюху середня».
9. ЯКЩО «одоривектор 1 не_відчувається» І «одоривектор 3 не_відчувається» ТО «чутливість нюху низька».
10. ЯКЩО «одоривектор 1 не_відчувається» АБО «одоривектор 3 не_відчувається» ТО «чутливість нюху середня».

На рисунку 3.19 наведена програма перегляду правил нечіткого логічного висновку після зміни значень вхідних змінних на [1.8 0.5 1.6] в інтерактивному середовищі програмування MATLAB.

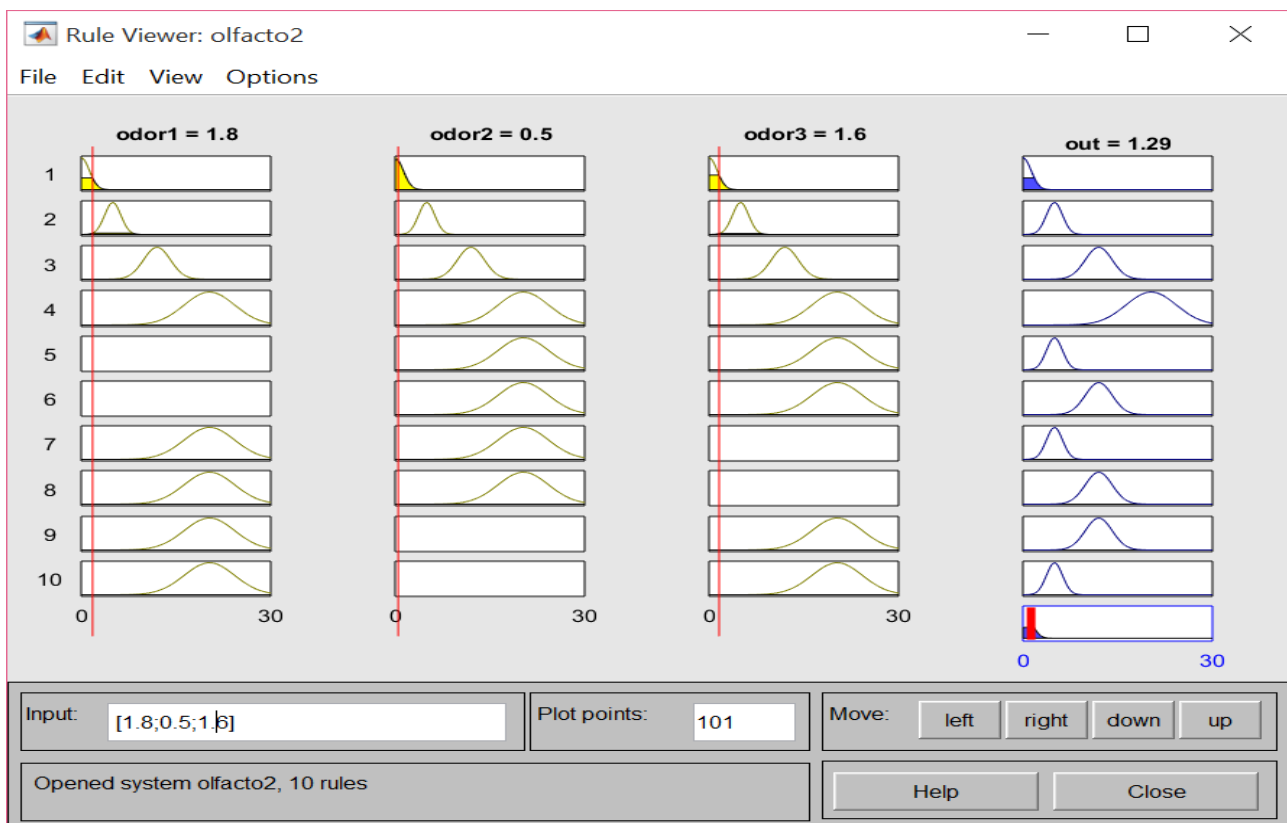


Рисунок 3.19 – Програма перегляду правил нечіткого висновку після зміни значень вхідних змінних на [1.8 0.5 1.6]

При заданих значеннях вхідних лінгвістичних змінних значення вихідної лінгвістичної змінної дорівнює 1.29, що відповідає інтервалу значень першого терма вихідної змінної, тобто нюхова чутливість висока. У табл. 3.2 наведено фрагмент даних, що відображають експериментальні дослідження за визначенням ольфакторної чутливості.

Таблиця 3.2 – Приклад експериментальних досліджень визначення ольфакторної чутливості

	Одоривектор 1, Дж	Одоривектор 2, Дж	Одоривектор 3, Дж	Чутливість, Дж	Лінгвістична інтерпретація (чутливість)
1	1,8	2,5	3,0	3,87	Середня
2	30,0	2,5	3,0	5,06	Середня
3	3,0	1,0	1,0	2,42	Середня
4	0	15,0	15,0	9,44	Низька
5	0	15,0	0,0	5,0	Середня
6	1,8	0,5	1,6	1,29	Висока
7	22	17	18	19	Відсутня
8	0,8	0,5	1,8	1,29	Висока
9	1,8	1,5	1,9	1,86	Висока
10	1,6	1,4	1,2	1,44	Висока

За допомогою розробленої моделі нечіткого логічного висновку [30] 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%.

Висновки до третього розділу

1. Встановлено, що для оцінки респіраторних порушень нюху доцільно використовувати енергетичні критерії носового дихання, пневматичну потужність та енергію носового дихання під час дії відповідного одоривектора.

2. Для оцінки респіраторних порушень нюху необхідно 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 подальшим визначенням енергетичних характеристик дихання.

3. Встановлено, що реєстрацію порогу 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 склали в середньому $0,4 \pm 0,18$ та $2 \pm 0,43$ Кал відповідно.

4. Встановлено, що під час діагностування респіраторно-нюхальних порушень доцільним є аналіз результатів тестів на основі нечіткої логіки, що заснований на використанні лінгвістичних змінних та дозволяє чітко класифікувати варіанти типових патологічних станів.

Перелік джерел посилань до третього розділу

1. Аврунин О.Г. Методы и средства функциональной диагностики внешнего дыхания: монографія / О.Г. Аврунин, Р.С. Томашевский, Х.И. Фарук. – Харьков, ХНАДУ. – 2015. – 208 с.

2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.

3. Аврунин О.Г. Возможности определения давления в подмасочном пространстве при риноманометрии / О.Г. Аврунин, Х.И. Фарук, Т.С. Кононенко // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХП»: зб. наук. пр. Темат. вип.: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – № 25 (1197). – С. 17–22. doi: 10.20998/2413-4295.2016.25.03

4. Пат. 117425 Україна, МПК А 61В 5/08. Спосіб діагностики ронхопатії / О.Г. Аврунін, О.В. Мустецова, А.С. Журавльов, Ю.М. Калашник, С.Б. Безшапочний, О.А. Чигиринова; ХНУРЕ. – № 201705774; заявл. 12.06.2017; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14. – 5 с.

5. 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. – № a201500603; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.06.2015, Бюл. №11. – 4 с.

6. Абизов Р.А. Нарушения функций обонятельного анализатора и практические аспекты методики их исследования и дальнейшей тактики ведения таких пациентов / Р.А. Абизов, Ю.Д. Павлишин. // Семейная медицина. – 2013. – №4 (48). – С. 100–102.

7. 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. – 2 с.

8. 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. doi: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i15.90

9. Avrunin O.G. Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics / O.G. Avrunin, Ya.V. Nosova, V.V. Semenets. // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No. 1(1). – P. 64–68. doi:10.30837/2522-9818.2017.1.064

10. Аврунін О.Г. Возможности автоматизированного определения порога ощущения одоривектора при риноманометрической оценке обонятельной чувствительности / О.Г. Аврунін, Я.В. Носова, Т.В. Жемчужкина. // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т.2. – С. 31–36. doi: 10.20998/2413-4295.2018.26.29

11. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с.

12. Filatov V. Fuzzy models presentation and realization by means of relational systems // Econtechmod: an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. Lublin; Rzeszow, 2014, Vol.(3), № 3, pp. 99–102.

13. Filatov V., Kovalenko A. (2020). Fuzzy systems in data mining tasks doi:10.1007/978-3-030-35480-0_6.

14. Filatov V., Radchenko V. Reengineering relational database on analysis functional dependent attribute // Proceedings of the X Intern. Scient. And Techn. Conf. «Computer Science & Information Technologies» (CSIT'2015), 14–17 sept. 2015. – Lviv, Ukraine. – P. 85–88.

15. Замковой В.С. Учет лингвистических переменных при создании систем объективной медицинской диагностики / В.С. Замковой, Т.Н. Мустецов. // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2006, Вып. 23. – С. 67–74.

16. Filatov V., Doskalenko S. The Approach to Searching for Functional Dependences of Data in Relational Systems // Innovative technologies and scientific

solutions for industries, Kharkiv – 2018. – No.3(1) – pp. 54-58. doi:10.30837/2522-9818.2018.3.054

17. Штовба С.Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С.Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – М.: Softline, 2003. – № 2. – С. 9–15.

18. Filatov V., Rudenko D. Grinyova E. Means of integration of heterogeneous data corporate information and telecommunication systems // Proceedings of the 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo-2014), 7–13 sept. 2014. – Sevastopol, Ukraine – P. 399–400.

19. Бурцев М.В. Выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в комбинированном решающем правиле / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк. // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Темат. вып.: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – № 31. – С. 10–15.

20. Filatov V., Semenets V. Methods for Synthesis of Relational Data Model in Information Systems Reengineering Problems // Proceedings of the International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PIC S&T-2018), 9–12 oct. 2018. – Kharkiv, Ukraine – P. 247–251. doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632144

21. Avrunin O., Vlasov O., Filatov V. Model of semantic integration of information systems properties in relay database reengineering problems // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries – 2020. – №4(14) – P. 5–12. doi:10.30837/itssi.2020.14.005

22. Sharma J. Fuzzy Logic based Odour Classification System in Electronic Nose / Jayeeta Sharma, Amlan Jyoti Bhagawati, Riku Chutia // International Journal of Computer Applications (0975-8887) – No.15 (Vol. 78) – 2013 – pp. 18–21.

23. Filatov V., Voloshchuk O., Spivak N. Implementation and support fuzzy systems by means the relational data model // «Współpraca Europejska» / «European Cooperation» – 2016. – Vol 4, No 11. – P. 49–61.

24. Семенець В.В. Метод синтезу моделі даних у задачах реінжинірингу реляційних систем / В.В. Семенець, В.О. Філатов. // Матеріали 7-ї Міжн. наук.-техн. конф. Інформаційні системи та технології (ICT-2018), 10–15 вересня 2018 р., Харків – Коблеве. – Х.: ХНУРЕ, 2018. – С. 12–14.

25. Філатов В.О. Реінжиніринг інформаційної системи на підставі пошуку і аналізу функціонально-залежних атрибутів реляційної бази даних / В.О. Філатов, О.В. Золотухін // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXVII міжн. наук.-практ. конф. MicroCAD-2019, 15–17 травня 2019 р. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2019. – С. 201.

26. Filatov V., Semenets V., Zolotukhin O. Synthesis of Semantic Model of Subject Area at Integration of Relational Databases // 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL-2019). doi:10.1109/caol46282.2019.9019532
27. Filatov V.O., Yerokhin A.L., Zolotukhin O.V., Kudryavtseva M.S. Methods of intellectual analysis of processes in medical information systems. Information Extraction and Processing, 2020(48), 92–98. doi:10.15407/vidbir2020.48.092
28. Комп'ютерне планування малоінвазивних втручань в офтальмології та нейрохірургії / О.Г. Аврунін, В.О. Філатов, М.Ю. Тимкович, Д.В. Кухаренко, В.О. Пятикоп. – Х: ХНУРЕ, 2020. – 160 с. doi:10.30837/978-966-659-283-8
29. Бодянский Е.В., Кучеренко В.Е., Кучеренко Е.И. и др. Гибридные нейрофаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах. – Днепропетровск: Системные технологии, 2008. – 357 с.
30. Касаткина Н.В. Методы хранения и обработки нечетких данных в среде реляционных систем / Н.В. Касаткина, С.С. Танянский, В.А. Филатов. // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – Херсон: ХНТУ, 2009. – Вип. 2 (24). – С. 84–90.
31. Machekhin Yu.P. A human as a research object for metrology of nonlinear dynamic systems / Yu.P. Machekhin, Yu.S. Kurskoy, H.Yu. Prisich. // Метрологія та прилади. – 2017. – №1. – С. 63–66.