МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА БІОКІБЕРНЕТИКИ ТА АЕРОКОСМІЧНОЇ МЕДИЦИНИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В. Д. Кузовик

“\_\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

Випускника освітнього ступеня магістр

За спеціальністю 172 “Телекомунікації та радіотехніка”

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ

біотехнічні та медичні апарати і системи

**Тема: “Методика оцінювання стану дихальної системи”**

Виконавець: студентка групи БМ-210М, Мусієнко Марина Володимирівна

Керівник: к.т.н., доцент, Іванець Ольга Борисівна

Консультант розділу

“Охорона навколишнього середовища”: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дудар Т.В.

Консультант розділу “Охорона праці”: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Кажан К.І.

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Іванець О.Б.

КИЇВ 2020

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет екологічної безпеки і технологій

Кафедра біокібернетики та аерокосмічної медицини

Спеціальність 172 «Електротехніка та телекомунікації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БІКАМ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_(Кузовик В.Д.)

«14» жовтня 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

Мусієнко Марини Володимирівни

1. Тема дипломної роботи (проекту): «Методика оцінювання стану дихальної системи» затверджена наказом ректора від «24» жовтня 2019 р. № 2477/ст.
2. Термін виконання роботи: з 14.10. 2019р. по 09.02 2020р.
3. Вихідні дані до роботи: : ЖЄЛ= 3,5л., 3,4л., 3л., 1л.; ДО = 1л, 0,9л., 1,2л., 0,5л; МВЛ = 4,5л., 4,5л.,4.2л, 1л; ЧСС = 69,78, 80, 80; ЧД = 5, 2, 4, 6; Твид = 3, 5, 6, 4; ЧСС = 77,0; TLCOSB = 8,8 од.; VA = 5,4 л.; VIN = 4,5 л.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз об’єкту дослідження; зняття основних показників за допомогою спірографа та вручну, проведення аналізу нормованих показників дихальної системи людини; розробка методики для визначення функціонального стану дихальної системи людини на основі отриманих даних, опис методики виконання експериментального дослідження, встановлення рекомендацій пацієнтів на основі норм Т-критерію Хотелінга.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: \_\_ алгоритм розробки математичної моделі, зображення органів дихальної системи людини, , процес автоматизації розрахунку показників в програмі Microsoft Excel, зображення алгоритму проведення методики оцінювання стану системи.
6. Календарний план-графік

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №  пор | Завдання | | Термін виконання | Відмітка про виконання |
| 1. | Оформити і обговорити з науковим керівником I розділ роботи | | 15.10.19р.-10.11.19р. | виконано |
| 2. | Оформити і обговорити з науковим керівником IІ розділ роботи | | 11.11.19р.-05.12.19р. | виконано |
| 3. | Оформити і обговорити з науковим керівником IІІ розділ роботи | | 06.12.19р.-20.01.20р. | виконано |
| 4. | Оформити і обговорити з консультантами з окремих розділів VІ та VII розділи роботи | | 21.01.20р.-28.01.20р. | виконано |
| 5. | Отримати відгук керівника та рецензію | 29.01.20р.-04.02.20р. | | виконано |

1. Консультант з окремих розділів

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розділ | Консультант  (посада, П.І.Б) | Дата, підпис | |
| Завдання  Видав | Завдання  прийняв |
| Охорона праці | к.т.н.,доц. Кажан К.І. |  |  |
| Охорона навколишнього середовища | к.б.н., доц. Дудак Т.В. |  |  |

1. Дата видачі завдання: «14» жовтня 2019р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Іванець О.Б.

(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Мусієнко М.В.

(підпис випускника)

**РЕФЕРАТ**

Дипломна робота оформлена у вигляді пояснювальної записки, що містить: 87 аркушів,\_ 13 ілюстрацій, 2 додатки та 1 таблицю.

Об'єкт дослідження – процес оцінювання ефективності роботи системи.

Предмет – показники стану дихальної системи.

Мета роботи – підвищення рівня оптимізації процесу діагностування дихальної системи за Т-критерієм Хотелінга, підвищення достовірності дослідження за рахунок розробки математичної моделі дихальної системи..

Проблема – суб'єктивний принцип прийняття рішень при оцінюванні стану дихальної системи організму, недостатній рівень ефективності проведення діагностування стану організму людини

Методи дослідження (програмні засоби) – зняття показників дихальної системи реалізовані за допомогою спірографа, а також обробка даних у табличному редакторі Excel з пакету офісних програм Microsoft Office, розробка математичної моделі в Visio з пакету прикладних програм Microsoft Office.

Результати проведеного дослідження – запропонована методика дозволить об'єктивно визначати функціональний стан системи дихання, а також диференціації застосування преформованих фізичних чинників

Результати можуть бути використані - створена методика може використовуватися для подальшого застосування на практиці в спеціалізованих науково-дослідницьких та медичних закладах, а також при швидкій консультації функціонального стану дихальної системи

**ДИХАЛЬНА СИСТЕМА, ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СПІРОГРАФІЯ, ІНТЕГРАЛЬНИЙ ПОКАЗНИК ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ, ПОКАЗНИКИ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ, МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ, КРИТЕРІЙ ХОТЕЛІНГА.**

**ЗМІСТ**

[ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 8](#_Toc31454577)

[ВСТУП 9](#_Toc31454578)

[РОЗДІЛ 1 12](#_Toc31454579)

[ДОСЛІДЖЕННЯ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ 12](#_Toc31454580)

[1.1 Основні введення 12](#_Toc31454581)

[1.2. Огляд органів дихання людини 13](#_Toc31454588)

[1.3 Методи та засоби досліджень дихальної системи 22](#_Toc31454589)

[РОЗДІЛ 2 28](#_Toc31454590)

[ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ 28](#_Toc31454591)

[2.1. Основні етапи математичного моделювання 28](#_Toc31454592)

[2.2. Моделювання біологічних процесів 31](#_Toc31454593)

[2.3. Математичне моделювання і обчислювальні методи в задачах проектування систем організму та управління ними 34](#_Toc31454594)

[2.4. Особливості прийняття рішення в лікарсько-діагностичних закладах 35](#_Toc31454595)

[2.5 Метод експоненціального зваженого ковзного середнього (EWMA) 40](#_Toc31454596)

[2.6 Створення математичної моделі для оцінки функціонального стану дихальної системи. 41](#_Toc31454597)

[РОЗДІЛ 3 46](#_Toc31454598)

[РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ 46](#_Toc31454599)

[3.1 Розрахунок біологічного процесу за допомогою статистики Хотелінга некорельованих величин 52](#_Toc31454600)

[3.1.2 Розрахунок критерію для оператора 3 56](#_Toc31454601)

[3.2 Розробка методики для оцінювання функціонального стану дихальної системи 59](#_Toc31454602)

[3.3 Алгоритм визначення проведення діагностичної методики для дихальної системи 61](#_Toc31454603)

[РОЗДІЛ 4 63](#_Toc31454604)

[ВПЛИВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЛЮДИНУ В УМОВАХ АНТАРКТИЧНОГО КЛІМАТУ 63](#_Toc31454605)

[4.1 Характеристика природних кліматичних умов. 63](#_Toc31454606)

[4.1.1 Середні щомісячні та річні характеристики температури повітря 64](#_Toc31454607)

[4.1.2 Середні щомісячні та річні характеристики кількості опадів 65](#_Toc31454608)

[4.2 Вплив кліматичних умов на стан організму полярників 67](#_Toc31454609)

[4.2.1 Динаміка показників дихання та кровообігу людини в Антарктиці 68](#_Toc31454610)

[4.2.2 Динаміка показників периферійної крові та імунний статус зимівників 69](#_Toc31454611)

[4.2.3 Молекулярні механізми адаптації 70](#_Toc31454612)

[РОЗДІЛ 5 72](#_Toc31454613)

[ОХОРОНА ПРАЦІ 72](#_Toc31454614)

[5.1 Ергономічні особливості роботи за комп'ютером 72](#_Toc31454615)

[5.2 Детальний опис та розгляд впливу ергономічних чинників на лікаря 72](#_Toc31454616)

[5.2.1 Вимоги до організації і обладнання робочого місця 72](#_Toc31454617)

[5.2.2 Вимоги до режимів праці і відпочинку 76](#_Toc31454620)

[5.3 Рекомендації щодо підтримки стану організму при роботі за комп'ютером 78](#_Toc31454621)

[5.4 Пожежна безпека 79](#_Toc31454622)

[ВИСНОВОК 81](#_Toc31454623)

[СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 83](#_Toc31454624)

[ДОДАТКИ 86](#_Toc31454625)

[Додаток А 86](#_Toc31454626)

[Додаток Б 87](#_Toc31454627)

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЖЄЛ – життєва ємність легень;

ІГ – індекс гіпоксії;

ІС – індекс Скібінської;

КТ – комп’ютерна томографія;

МВЛ – максимальна вентиляція легень;

Твд – час затримки повітря на вдиху;

Твид – час затримки повітря на видиху;

УЗД – ультразвукова діагностика;

ХОД – хвилинний об’єм дихання;

СКВ – середньоквадратичне відхилення.

# ВСТУП

Стрімке зростання рівня вимог пацієнтів до стану здоров’я потребу'є постійного пошуку нових, більше ефективних методів, засобів і організаційних форм підтримки функціонального стану всього організму.

Однак, в результату аналізу доступної інформації, можна прийти до висновку, що інновації, які пропонуються фахівцями, далеко не завжди вирішують проблеми оптимізації процесу підтримки функціонального стану організму, який в узагальненому вигляді являє собою замкнений цикл взаємопов'язаних дій лікаря та пацієнта, направлених на досягнення головної мети – забезпечення якості життя.

Інформаційне забезпечення якості здоров’я є складним, багатофункціональним процесом, але при системному підході можливе розбиття складної системи організму на окремі підсистеми. Необхідно розробити методи та засоби для оцінювання кожної підсистеми окремо.

В умовах Антарктики на організм людини негативно впливає комплекс надзвичайної сили факторів геліо-геофізичного, біоритмологічного, метеорологічного походження. Стимулювальна дія антарктичних чинників може викликати перебудови багатьох функцій організму, що проявляється втратою резервів його адаптаційної здатності. Насамперед це стосується прямих впливів високочастотних електромагнітних хвиль на церебральну біоритміку людини, викликаючи генералізовані реакції активації у корі головного мозку. Результатом непрогнозованої високочастотної природної стимуляції можуть бути формування стійких перебудов у співвідношеннях потужностей біоритмів головного мозку з вірогідністю модифікації механізмів центральної регуляції.

Для різких перепадів метеорологічних факторів характерні флуктуації у складі дихального середовища з виникненням умов гіпоксії. Означена ситуація висвітлює певну роль у збереженні адаптаційних резервів організму якості забезпечення його киснем в екстремальних умовах. Тривалий вплив на людину антарктичних екологічних факторів і формування стану хронічного стресу з прихованими явищами гіпоксії можуть сприяти виникненню проявів депресивності та пригнічення психоемоційного стану. Така ситуація характерна для формування у зимівників симптомокоплексу «антарктичного синдрому напруження». Виникненню порушень значною мірою сприяє сенсорна ізоляція, а також вплив біоритмологічних чинників і ахроматичність довкілля

Дихальна система в організмі має важливе значення для насищення крові киснем. Вона багатофункціональна та багатокомпонентною, тому математичне забезпечення інформатизації системи оцінювання стану дихальної системи є актуальною задачею, що була запропонована в даній роботі.

**Проблема**: відсутність розробленої обґрунтованої методики для оцінювання стану організму, суб'єктивний принцип прийняття рішень при оцінюванні стану дихальної системи організму..

**Мета**: підвищення достовірності скринінгу оцінювання функціонального стану організму за рахунок використання – статистики.

**Задачі:**

* провести аналіз основних факторів., що необхідно враховувати при математичному моделюванні;
* проаналізувати показники дихальної системи для подальших розрахунків;
* розрахувати Т- критерій Хотелінга для зимівників, встановити Т критичне;
* автоматизація процесу оцінювання стану дихальної системи;
* розробити методику визначення стану дихальної системи.

**Об’єкт**: процес оцінювання ефективної роботи системи.

**Предмет**: показники стану дихальної системи.

**Наукова новизна** полягає у тому, що:

1. Вперше розроблена методика оцінювання на основі Т-критерію Хотелінга при оцінювання функціонального стану організму.
2. Вдосконалений процес розрахунку некореляційних особливостей функціонування організму людини
3. Для подальшого розвитку, формалізація математичного моделювання процесу оцінювання організму людини на основі критіеріальних оцінок

**Практична значення** дослідження полягає у можливості підвищення ефективності оцінювання функціонального стану організму.

**Особистий внесок здобувачки**. Усі наукові результати магістерської роботи отримані авторкою особисто. У сумісних роботах автором виявлені особливості використання математичної моделі для такого специфічного предмету дослідження як організм людини, удосконалений процес розрахунку проміжних результатів та запропоновані нормовані границі допуску для параметрів підсистем організму.

**Апробація результатів дослідження**. Основні результати роботи були апробовані в науково-технічних виданнях, включених до реєстру фахових видань України, а саме «Модель функціонування дихальної системи організму». Вісник інженерної академії України. Вип.3.2019. С.145-148.

# РОЗДІЛ 1

# ДОСЛІДЖЕННЯ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

## Основні введення

Поряд з обміном речовин, що надходять в організм людини з їжею, для життя необхідний і газообмін - процес засвоєння атмосферного кисню і виділення вуглекислого газу, який і становить сутність процесу дихання. У повсякденному сенсі під подихом розуміють чергуються акти вдиху і видиху повітря, зовнішній прояв яких відомо кожному. Газообмін виконується легенями, і в нормі спрямований на поглинання з вдихуваного повітря кисню і виділення в зовнішнє середу утвореного в організмі вуглекислого газу. Крім цього, дихальна система бере участь в таких важливих функціях, як терморегуляція, утворення голосу, нюх, зволоження вдихуваного повітря. Легенева тканина також грає важливу роль в таких процесах як: синтез гормонів, водно-сольовий і ліпідний обмін.

У рясно розвиненою судинній системі легень відбувається депонування крові. Дихальна система також забезпечує механічну і імунний захист від факторів зовнішнього середовища[3].

Фізіологічно процес дихання включає в себе три основних етапу:

1. Надходження кисню з вдихуваного повітря в кров -зовнішнє дихання.

2. Доставка кисню клітинам з кров`ю і тканинної рідиною і відтік вуглекислого газу від клітин через тканинну рідину і кров в повітря, що видихається - транспорт газів.

3. Засвоєння кисню клітинами - тканинне дихання. Порушення будь-якого з цих етапів призводить до серйозного розладу дихання.

## 1.2. Огляд органів дихання людини

Газообмін між організмом і зовнішнім середовищем забезпечують органи дихання (рис). Дихальні органи властиві організмам, які отримують кисень з повітря атмосфери (легені, трахеї).

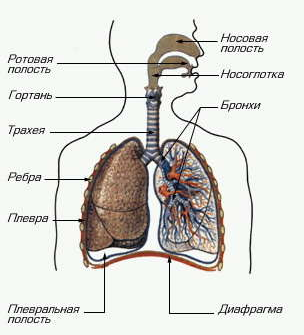


Рис. 1.1. Органи дихання людини

Органи дихання, що зображені на рис.1.1., складаються з дихальних шляхів і парних дихальних органів - легень. Залежно від положення в тілі дихальні шляхи поділяються на верхній і нижній відділи. Дихальні шляхи являють собою систему трубок, просвіт яких формується завдяки наявності в них кісток і хрящів.

Внутрішня поверхня дихальних шляхів покрита слизовою оболонкою, яка містить значну кількість залоз, що виділяють слиз. Проходячи через дихальні шляхи, повітря очищається і зволожується, а також набуває необхідної для легких температуру. Проходячи через гортань, повітря відіграє важливу роль у процесі формування членороздільної мови в людини[1].

По дихальних шляхах повітря надходить в легені, де відбувається газообмін між повітряним середовищем і кров'ю. Кров віддає через легені надлишок двоокису вуглецю і насичується киснем до потрібної організму концентрації.

1. **Верхні дихальні шляхи**

До верхніх дихальних шляхів відносяться порожнину носа, носова частина глотки, ротова частина глотки.

* Ніс

Ніс складається із зовнішньої частини, яка формує порожнину носа.

Зовнішній ніс включає корінь, спинку, верхівку і крила носа. Корінь носа розташований у верхній частині особи і відділений від чола переніссям. Бічні сторони носа по середній лінії з'єднуються і утворюють спинку носа. Донизу спинка носа переходить у верхівку носа, внизу крила носа обмежують ніздрі. По середній лінії ніздрі розділені перетинчастої частиною носової перегородки.

Зовнішня частина носа (зовнішній ніс) має кістковий і хрящовий скелет, утворені кістками черепа і декількома хрящами.

Порожнина носа розділяється перегородкою носа на дві симетричні частини, що відкриваються попереду на обличчі ніздрями. Перегородка носа спереду перетинчаста та хрящова, а ззаду кісткова.

Велика частина порожнини носа представлена носовими ходами, з якими повідомляються навколоносові пазухи (повітряні порожнини кісток черепа). Розрізняють верхній, середній і нижній носові ходи, кожний з яких розташовується під відповідною носовою раковиною.

Верхній носовий хід повідомляється із задніми осередками гратчастої кістки. Середній носовий хід повідомляється з лобової пазухою, верхньощелепної пазухою, середніми і передніми осередками (пазухами) гратчастої кістки. Нижній носовий хід повідомляється з нижнім отвором носослізного каналу[2].

У слизовій оболонці носа виділяють нюхову область - частина слизової оболонки носа, що покриває праву і ліву верхні носові раковини і частина середніх, а також відповідний їм відділ носової перегородки. Інша частина слизової оболонки носа відноситься до дихальної області. У нюхової області знаходяться нервові клітини, що сприймають пахучі речовини з вдихуваного повітря.

У передній частині порожнини носа, званому передоднем носа, знаходяться сальні, потові залози і короткі жорсткі волосся - вібріси.

* Глотка

Це ділянка травного каналу людини; з'єднує ротову порожнину з стравоходом. Виконує ковтання і бере участь у процесі дихання.

1. **Нижні дихальні шляхи**

До нижніх дихальних шляхів відносяться - гортань, трахея і бронхи.

* Гортань

Гортань виконує функцію дихання, голосоутворення при членороздільної мові і функцію захисту нижніх дихальних шляхів від сторонніх предметів.

Гортань займає серединне положення в передній області шиї на рівні 4 - 7 шийного хребців. Гортань вгорі підвішена до під'язякової кістки, знизу з'єднується з трахеєю. У чоловіків вона утворює піднесення - виступ гортані. Спереду гортань прикрита пластинками шийної фасції і під'язичними м'язами. Спереду і з боків гортань охоплюють права і ліва частки щитоподібної залози. Позаду гортані розташовується горлова частина глотки.

Порожнина гортані умовно ділиться на три відділи: переддень гортані, міжшлуночковий відділ і підголосову порожнину. У міжшлуночковому відділі гортані знаходиться мовний апарат людини - голосова щілина. Ширина голосової щілини при спокійному диханні дорівнює 5 мм, при голосоутворенні досягає 15 мм.

Слизова оболонка гортані містить багато залоз, виділення яких зволожують голосові складки. В області голосових зв'язок слизова оболонка гортані не містить залоз. У підслизовій основі гортані розташовується велика кількість фіброзних і еластичних волокон, які утворюють фіброзно-еластичну мембрану гортані. Еластичний конус знаходиться під слизовою оболонкою в нижньому відділі гортані. М'язи гортані діляться на групи: розширювачі, звужувачі голосової щілини і м'язи, що напружують голосові зв'язки.

До м'язів, що натягують голосові зв'язки, відносяться перстнещитовидна та голосова.

Голосовий м'яз являє собою парний м'яз (правий і лівий). Кожне м'яз розташовується в товщі відповідної голосової складки. Волокна м'язу вплітаються в голосову зв'язку, до якої цей м'яз прилягає. Голосовий м'яз починається від внутрішньої поверхні кута щитовидного хряща, в його нижній частині, і кріпиться до голосового відростка черпаловидного хряща. Скорочуючи, вона напружує голосову зв'язку.

* Трахея

Трахея являє собою орган, по якому повітря проходить через легені та назад. Трахея орган непарний, починається від нижньої межі гортані на рівні нижнього краю 6-го шийного хребця і на рівні 5-го грудного хребця, ділиться на два головних бронха (це місце поділу трахеї називається біфуркацією трахеї). Трахея проходить попереду стравоходу.

Трахея має форму трубки, довжиною 9 - 11 см і трохи сплощеної спереду і ззаду.

Виділяють шийну і грудну частини трахеї. У шийному відділі до трахеї спереду прилягає щитовидна залоза. З боків від трахеї розташовуються правий і лівий судинно-нервові пучки (загальна сонна артерія, внутрішня яремна вена і блукаючий нерв). У грудній порожнині попереду трахеї знаходяться дуга аорти, ліва плечеголовна вена і плечеголовний стовбур. Також попереду трахеї розташовується початкова частина лівої загальної сонної артерії і вилочкова залоза .

Стінка трахеї складається із слизової оболонки (внутрішній шар), підслизової основи і волокнисто-м'язово-хрящової і сполучнотканинної (зовнішньої) оболонок. Основу трахеї складають 16 - 20 хрящових півкілець, розімкнутих з заднього боку. Сусідні хрящі з'єднуються один з одним кільцевими зв'язками. Верхній хрящ трахеї з'єднується з персневидним хрящем гортані. Слизова оболонка трахеї складається з багатошарового війчастого епітелію; містить слизові залози і поодинокі лімфоїдні вузлики. У підслизовій основі знаходяться трахеальні залози.

* Головні бронхи

Головні бронхи є продовженням трахеї після її роздвоєння на рівні верхнього краю 5-го грудного хребця і направляються до воріт правого і лівого легень .Правий головний бронх коротший і ширший, ніж лівий. Довжина правого бронха близько 3 см, лівого 4 - 5 см. Над лівим головним лежить дуга аорти, над правим - непарна вена. Стінка головного бронха відповідає будові трахеї. Кістяком головних бронхів є хрящові півкільця. У правому головному бронху 6 - 8 хрящових півкілець, в лівому головному бронху - 9 - 12.

* Легені

Легені являють собою парний дихальний орган. Вони знаходяться в плевральних порожнинах і здійснюють газообмін між навколишнім організм повітряним середовищем і кров'ю.

Праве і ліве легке розташовуються в грудній клітці. Кожне легке оточене оболонкою – плеврою, від сусідніх анатомічних утворень. Між плеврою, навколо легені і грудної клітиною є інший листок плеври - пристінковий листок, який вистилає внутрішню поверхню грудної клітки.

Між легеневої плеврою і пристінковою плеврою є щелеподібний замкнутий простір - плевральна порожнина. У плевральній порожнині знаходиться невелика кількість рідини, яка змочує дотичні гладкі, листки пристінкової і легеневої плеври, усуваючи тертя їх один об одного. При диханні, збільшується або зменшується об'єм легень. При цьому легенева плевра вільно ковзає по внутрішній поверхні пристінкової плеври. У місцях переходу пристінкової плеври з реберної поверхні на діафрагми і середостіння утворюються поглиблення - плевральні синуси[7].

Легені розташовані в плевральних мішках, розділені середостінням, до складу якого входить серце, аорта, нижня порожниста вена, стравохід і інші органи. Внизу легені лежать на діафрагмі. Права легеня коротша і ширша лівої легені тому правий купол діафрагми вище лівого купола діафрагми. Ліва легеня вже й довше правої легені, тому, що частину лівої половини грудної клітини займає серце Спереду, c боків, ззаду і вгорі легені контактують з грудною кліткою.

У кожній легені розрізняють верхівку, основу і три поверхні - реберну, медіальну і діафрагмальну. Поверхні легкого розділені краями. Передній край відокремлює реберну поверхню від медіальної поверхні. Нижній край відокремлює реберну і медіальну поверхні від діафрагмальної.

Корінь легені складається з головного бронха, легеневої артерії, легеневих вен (двох), лімфатичних судин, нервових сплетінь, бронхіальних артерій і вен. У воротах легені також знаходяться лімфатичні вузли. Розташування судинних утворень в корені (воротах) легені зазвичай таке, що верхню частину воріт займають головний бронх, нервові сплетення, легенева артерія, лімфатичні вузли, а нижню частину воріт легені - легеневі вени. У воротах правої легені вгорі лежить головний бронх, під ним - легенева артерія і нижче неї - дві легеневі вени. У воротах лівої легені вгорі розташовується легенева артерія, під нею - головний бронх і ще нижче - дві легеневі вени. У воротах легень головні бронхи розбиваються на часткові бронхи.

Частки легень поділяються на бронхолегеневі сегменти - легеневі ділянки, більш-менш відокремлені від таких же сусідніх ділянок прошарками сполучної тканини. Права легеня має три сегменти у верхній частці, два сегменти в середній частці і п'ять сегментів у нижній частці. Ліва легеня має п'ять сегментів у верхній частці і п'ять сегментів у нижній частці. Сегментна будова легень пов'язано з порядком розгалуження бронхів в легенях: у воротах легень головні бронхи розбиваються на часткові бронхи; часткові бронхи, у свою чергу, входять у ворота частки легені і поділяються на сегментарні бронхи - за кількістю легеневих сегментів.

Сегментарні бронхи входять у бронхолегеневий сегмент і діляться в ньому на гілки, що налічують 9 - 10 порядків розгалуження. Сам бронхолегеневий сегмент складається з легеневих дольок. У центрі сегмента проходить сегментарний бронх і сегментарна артерія. За межі сусідніх сегментів, у перегородці сполучної тканини проходить сегментарна вена, що відводить кров від сегментів. Сегмент своєю основою звернений до поверхні легені, а верхівкою до - кореня.

Бронха діаметром в 1 мм містить у своїй стінці хрящ, входить до частини легені (частина легеневого сегмента) під назвою часткова бронха. Всередині часточки цієї бронхи ділиться на 18 - 20 кінцевих бронхіол, яких в обох легенях близько 20000. Стінки кінцевих бронхіол не містять хрящів. Кожна кінцева бронхіола ділиться на дихальних бронхіол. Від кожної дихальної бронхіоли відходять альвеолярні ходи, що несуть на собі альвеоли і закінчуються альвеолярними мішечками. Стінки цих мішечків складаються з легеневих альвеол. Діаметр альвеолярного ходу і альвеолярного мішечка складає 0.2 - 0.6 мм, альвеоли - 0.25 - 0.3 мм.

Бронхи в легенях складають бронхіальне дерево. Дихальні бронхіоли, що відходять від кінцевої бронхіоли, альвеолярні ходи, альвеолярні мішечки і легеневі альвеоли утворюють альвеолярне дерево легені. У альвеолярному дереві відбувається газообмін між кров'ю і зовнішнім повітрям. Альвеолярне дерево є структурно-функціональною одиницею легені. Число легеневих альвеолярних дерев в одній легені досягає 150000, а кількість альвеол дорівнює 300 - 350 млн. Площа дихальної поверхні всіх альвеол складає близько 80 кв.м.

* Кровопостачання і лімфовідтікання легень

Артеріальна кров для живлення легеневої тканини і бронхів надходить у легені по бронхіальним гілкам грудної частини аорти. Венозна кров від стінок бронхів за бронхіальними венами надходить в притоки легеневих вен, а також в непарну і напівнепарну вени. По лівій і правій легеневих артеріях в легені надходить венозна кров, яка в результаті газообміну збагачується киснем, віддає двоокис вуглецю і стає артеріальною. Артеріальна кров з легких по легеневих венах надходить у ліве передсердя.

Лімфатичні судини легень впадають в бронхолегеневі, нижні і верхні трахеобронхіальні лімфатичні вузли. Велика частина лімфи з обох легень відтікає в правий лімфатичний протік, від верхніх відділів лівої легені лімфа відтікає безпосередньо в грудну протоку.

* Іннервація легенів

Іннервація легенях здійснюється з блукаючих нервів і з симпатичного стовбура, гілки яких в області кореня легені утворюють легеневе сплетення, гілки цього сплетення по бронхах і судинах проникають у легені. У стінках великих бронхів також є сплетення нервових волокон.

* Фізіологія дихання

Подих являє собою сукупність процесів, що забезпечують надходження в організм кисню, використання його в окисленні органічних речовин і видалення з організму вуглекислого газу. Один з етапів дихання – *зовнішнє дихання*. Під зовнішнім диханням розуміють процеси, що забезпечують обмін газів між навколишнім середовищем і кров'ю людини.

Вентиляція легень здійснюється шляхом періодичної зміни вдихів (інспірація) і видихів (експірації). Частота дихальних рухів у спокої у здорової людини в середньому становить 14 - 16 за хвилину. Видих зазвичай на 10 - 20% довше вдиху.

Вентиляція легень здійснюється за рахунок дихальних м'язів. В акті вдиху беруть участь м'язи діафрагми, зовнішні міжреберні м'язи, міжхрящові частини внутрішніх міжреберних м'язів. Під час вдиху ці м'язи збільшують обсяг грудної порожнини. В акті видиху беруть участь м'язи черевної стінки, міжкісткові частини внутрішніх міжреберних м'язів, ці м'язи зменшують обсяг грудної порожнини.

Повітря, проходячи через голосові зв'язки, бере участь у формуванні членороздільної мови, завдяки можливості зміни просвіту голосової щілини м'язами гортані.

Вентиляція легень - мимовільний акт. Дихальні рухи здійснюються автоматично, завдяки наявності чутливих нервових закінчень, що реагують на концентрацію вуглекислоти і кисню в крові та в спинномозковій рідині. Ці нервові чутливі закінчення (хеморецептори) посилають сигнали про зміну концентрації вуглекислоти і кисню в дихальний центр в довгастому мозку (нижня частина головного мозку). Дихальний центр забезпечує координовану ритмічну діяльність дихальних м'язів і пристосовує дихальний ритм до змін зовнішньої газового середовища і коливанням вмісту вуглекислоти і кисню в тканинах організму і крові[11].

У нормальних умовах легені завжди розтягнуті, але еластична тяга легень прагне зменшити їх обсяг. Ця тяга забезпечує негативний тиск у плевральній порожнині по відношенню до тиску в альвеолах легень, тому легені не спадаються. При порушенні герметичності плевральної порожнини (наприклад - при проникаючому пораненні грудної клітини) розвивається пневмоторакс, і легені спадаються.

Обсяг повітря у легенях у кінці спокійного видиху називають функціональної залишкової ємністю. Вона складає суму резервного обсягу видиху (1500 мл) - виведеного з легень при глибокому видиху, і залишкового обсягу - залишається в легенях після глибокого видиху (приблизно 1500 мл). Протягом одного вдиху в легені надходить дихальний об'єм - 400 - 500 мл (при спокійному диханні), а при максимально глибокому вдиху - ще резервний об'єм - приблизно 1500 мл. Об'єм повітря, що виходить з легких при максимально глибокому видиху після максимально глибокого вдиху, становить життєву ємність легень. Життєва ємність легень складає в середньому 3500 мл. Загальна ємність легень визначається ЖЄЛ + залишковий обсяг.

Не все повітря, що надходить під час вдиху досягає альвеол. Обсяг повітроносних шляхів, у яких газообмін не відбувається називають анатомічним мертвим простором. Газообмін також не відбувається на ділянках альвеол, де немає контакту альвеол з капілярами.

Повітря при подиху через повітроносні шляхи досягає легеневих альвеол. Діаметр легеневої альвеоли змінюється при диханні, збільшуючись при вдиху, і становить 150 - 300 мкм. Площа контакту капілярів малого кола кровообігу з альвеолами близько 90 кв. метрів.Легеневі артерії, що несуть до легень венозну кров, в легенях розпадаються на часткові, потім сегментарні гілки - аж до капілярної мережі, яка оточує легеневі альвеоли.

Між альвеолярним повітрям і кров'ю капілярів малого кола кровообігу знаходиться легенева мембрана. Вона складається з поверхнево-активною устілки, легеневого епітелію (клітин легеневої тканини), ендотелію капілярів (клітин стінок капілярів) і двох прикордонних мембран.

Перенесення газів через легеневу мембрану здійснюється завдяки дифузії молекул газів через різницю їх парціального тиску. Вуглекислота і кисень переходять з місць з більш високою концентрацією в області з більш низькою концентрацією, тобто кисень з альвеолярного повітря переходить в кров, а вуглекислота з крові проникає в альвеолярний повітря.

Кожен капіляр проходить над 5 - 7 альвеолами. Час проходження крові через капіляри в середньому - 0.8 секунд. Велика поверхня контакту, мала товщина легеневої мембрани і відносно мала швидкість течії крові в капілярах сприяють газообміну між альвеолярним повітрям і кров'ю. Збагачена киснем і збіднена вуглекислотою кров в результаті газообміну стає артеріальною. Виходячи з легеневих капілярів, вона збирається в легеневі вени і через легеневі вени потрапляє в ліве передсердя, а звідки - у велике коло кровообігу.

## 1.3 Методи та засоби досліджень дихальної системи

Для встановлення остаточного діагнозу та вибору методу лікування, крім ретельного клінічного обстеження хворих, необхідно провести ряд спеціальних інструментальних методів дослідження органів дихання. На основі скарг і анамнезу необхідно продумати (скласти) план інструментальних і лабораторних методів дослідження таким чином, щоб, без побоювання заподіяти хворому неприємності (ятрогенні пошкодження), найкоротшим шляхом встановити правильний діагноз[5].

* ***Рентгенологічне дослідження*** показано всім хворим. Дослідження легень в двох площинах (проекціях) - прямий і бічний. Це нерідко дає можливість не тільки виявити патологічні зміни в легенях і плеврі, але і провести диференціальну діагностику захворювань.
* ***Томографія.*** Пошарове поздовжнє рентгенологічне дослідження легень. Воно дає можливість уточнити характер патології в легенях (зміна просвіту трахеї і бронхів), контурів затемнень, виявити наявність порожнин в ділянках затемнення легкого і визначити глибину розташування патологічної тіні.
* ***Комп'ютерна томографія (КТ).*** Дослідження, що дозволяє отримати рентгенівське зображення поперечних зрізів грудної клітки та її органів з дуже великою чіткістю зображення і великою роздільною здатністю. На поперечних зрізах можна чітко розрізнити обумовлені патологічним процесом зміни в легеневій тканині, трахеї, бронхах, лімфатичних вузлах середостіння, більш точно визначити поширеність патологічного процесу, його взаємини з іншими органами, наявність випоту в плевральній порожнині і зміни плеври при пухлинах.
* ***Магнітно-резонансна томографія.*** Метод дозволяє диференціювати пухлини від кіст та судинних новоутворень, тому що зміни в судинах добре помітні на отриманих зображеннях без введення контрастної речовини. Магнітно-резонансна томографія особливо ефективна в діагностиці захворювань серця і судин. Вона дозволяє також виявити інвазію пухлини в навколишні структури, середостіння, грудну клітку.
* *Бронхографія*. Рентгенографічне дослідження бронхіального дерева після заповнення бронхів контрастним речовиною. Це дослідження дозволяє виявити зміни в бронхах: бронхоектази, залишкові порожнини після абсцесу легені, бронхоплевральні свищі, рубцеві стенози бронхів. В даний час бронхографію застосовують рідко, тому що бронхоскопія та комп'ютерна томографія дають можливість отримати більш точну діагностичну інформацію.
* ***Ангіографія.*** Рентгенологічне дослідження судин легень після введення в них контрастної речовини. При катетеризації судини вводять 15-20 мл контрастної речовини і виконують із заданою швидкістю серію рентгенівських знімків. Дослідження проводять для уточнення операбельності при раку легені, для діагностики тромбоемболії легеневої артерії, артеріовенозних аневризм та ін Найбільш повну інформацію вона дає при поєднанні з комп'ютерною томографією.
* ***Бронхіальну артеріографію*** застосовують для уточнення локалізації джерела кровотечі і подальшої емболізації артерії при легеневій кровотечі. В даний час замість артеріографії з успіхом можна використовувати магнітно-резонансну томографію.
* ***Радіоізотопне (радіонуклідне) дослідження*** в залежності від застосовуваного радіоактивного фармпрепарату дозволяє виявити патологічні вогнища в легкому, які тривало затримують або, навпаки, не накопичують ізотоп (наприклад, порушення перфузії легеневої тканини в зоні емболії гілок легеневої артерії, ателектазу, пухлини легені, метастазу раку щитовидної залози).
* ***Ультразвукове дослідження*** дає можливість встановити наявність випоту в плевральній порожнині. З її допомогою можна виконати біопсію. При операціях в плевральній порожнині через купол діафрагми можна виявити освіти в печінці (ехінококові кісти, метастази, пухлини при раку), не діагностуванні при до операційному дослідженні. УЗД дає можливість виявити невелике (до 100 мл) скупчення рідини в плевральній порожнині, провести під його контролем пункцію, отримати матеріал для дослідження, видалити рідину, ввести лікувальний препарат.
* *Бронхоскопія*. Дослідження нижніх дихальних шляхів за допомогою бронхоскопа. Це основний метод дослідження при захворюваннях трахеї та бронхів. При бронхоскопії необхідно аспірувати мокротиння для бактеріологічного та цитологічного дослідження. За допомогою спеціальних щипців можна взяти шматочок пухлини або тканини для гістологічного дослідження, провести зняття епітелію зі слизової оболонки бронха, взяти вологим тампоном мазок для цитологічного і гістологічного досліджень.
* ***Лазерна флуоресцентна бронхоскопія*.** заснована на виборчій можливості тканин злоякісних пухлин накопичувати введений фотосенсибілізатора. При опроміненні пухлини променем лазера певної довжини хвилі тканину злоякісної пухлини дає більш інтенсивну флюоресценцію в порівнянні з тканиною доброякісної пухлини і зі здоровими тканинами. Комп'ютерна обробка кривих інтенсивності флюоресценції під впливом лазерного опромінення допомагає диференціювати злоякісні новоутворення в бронхах від доброякісних.
* ***Торакоскопія*** являє собою ендоскопічне дослідження плевральної порожнини за допомогою спеціального інструменту - торакоскопія. Метод дає можливість оглянути парієтальних і вісцеральних плевру, виявити патологічні зміни в плеврі і легенях, провести біопсію. В даний час є апаратура для відеоторакоскопії і спеціальний набір інструментарію для проведення оперативних втручань в плевральній порожнині через троакара. Зображення видимих патологічних змін і етапи оперативного втручання на легенях і плеврі передаються на монітор. Це дозволяє проводити діагностичні процедури та оперативні втручання без розрізів і широкого розтину плевральних порожнин.
* ***Відеоторакоскоп*** дозволяє виконати біопсію плеври, легені, лімфатичних вузлів середостіння і кореня легені. Вона застосовується для видалення пухлин плеври, крайовий резекції легень, лобектомія, проведення симпатектомії при гіпергідрозі і больових синдромах верхньої кінцівки. За допомогою цього методу можна зробити плевродез для запобігання накопичення рідини в плевральній порожнині при злоякісних пухлинах, провести ревізію і санацію плевральної порожнини при емпіємі плеври, при гемотораксе. Відеоторакоскоп поєднує в собі можливості діагностичних та оперативних втручань.
* ***Медіастіноскопії*** являє собою метод ендоскопічного дослідження переднього середостіння і передньої поверхні трахеї (до біфуркації) за допомогою спеціального інструменту - медіастіноскопії. Застосовується для пункції чи видалення лімфатичних вузлів при лімфогранулематозі, пухлинах переднього середостіння, метастазах пухлин, для гістологічного дослідження.
* ***Цитологічне, гістологічне і мікробіологічне дослідження*** мокротиння, бронхіального секрету, плеврального ексудату, а також біопсійного матеріалу, одержуваного при бронхоскопії (шматочки тканини, знімання, змив зі слизової оболонки, матеріал, отриманий при біопсії, медіастіноскопії, торакоскопії), є обов'язковим компонентом діагностики захворювань легень та плеври.
* ***Функціональні методи*** дослідження дозволяють за допомогою сучасних апаратів отримати інформацію про функціональний стан органів дихання і кровообігу. Вони необхідні для оцінки стану пацієнта, його резервних можливостей при вирішенні питання про оперативне втручання, виборі методу та обсягу операції.
* *Спірометрія* дозволяє оцінити стан зовнішнього дихання виміром легеневих обсягів за допомогою спірометра[9].

Дихальним об'ємом легень називають об'єм повітря, що вдихається і видихається при одному спокійному дихальному циклі. У нормі він складає приблизно 500 мл. При максимальному вдиху в легені може увійти ще 1500 мл повітря, яке називається додатковим. Повітря, що виходить при максимальному форсованому видиху (до 1500 мл), називається резервним.

Життєва ємність легень (ЖЕЛ) - обсяг повітря, що видихається після максимально глибокого вдиху. Цей показник коливається від 3,5 до 5,5 л. Зменшення ЖЕЛ свідчить про зменшення вентильованої частини легені. Хвилинний об'єм дихання (ХОД) - об'єм повітря, що видихається (або вдихуваного) за 1 хв. при спокійному диханні (норма 6-8 л /хв). Максимальна вентиляція легень (МВЛ) - об'єм повітря, що видихається за I хв. при максимальній частоті і глибині дихання (норма 110-120 л /хв). Залишковий об'єм легенів - об'єм повітря, що залишається в легенях після максимального видиху.

Перераховані показники визначають у відсотках до належним показниками за таблицями Гарріса-Бенедикта.

* ***Проба Вотчала-Тіффно*** являє собою Функціональна проба для оцінки трахео-бронхіальної прохідності шляхом вимірювання об'єму повітря, що видихається після максимального вдиху в першу секунду форсованого видиху. Далі обчислюють процентне відношення цього об'єму до життєвої ємності легень (норма 70-80%). Пробу проводять при захворюваннях бронхів і легень.
* ***Коефіцієнт використання кисню*** являє собою процентне відношення частки кисню, що використовується тканинами, до загального змісту його в артеріальній крові. Цей показник є важливим фактором, що характеризує процеси дифузії через альвело-капілярні мембрани (норма 40%).
* ***Аналіз газів крові*** має важливе значення для вивчення газотранспортної функції легень. Першорядне значення має визначення парціального тиску кисню (р02) і вуглекислоти (РС02). При гострій респіраторної недостатності рівновагу парціального тиску 02 і С02 порушується (р02 менше 60 мм рт. Ст., РС02 більше 50 мм рт. Ст.). Часткова дихальна недостатність відзначається при зменшенні вентиляції окремих ділянок легень і компенсаторному збільшенні елімінації вуглекислоти добре вентильованими відділами легень, внаслідок чого РС02 залишається нормальним, а рО2 знижене.

При глобальної недостатності спостерігається гіповентиляція альвеол з респіраторним ацидозом. При цьому РС02 зростає, р02 знижується, розвиваються гіпоксія і гіперкапнія. Оперативні втручання на легенях можливі при наступних мінімальних значеннях показників функціонального стану органів дихання :: ЖЕЛ - більше 50% від норми, проба Вотчала-Тіффно - більше 55-60% ЖЕЛ, МВЛ - 45-75 л /хв, залишковий об'єм легень - понад 50% від норми. Гази крові: р02 - понад 65 мм рт. ст., РС02 - менше 45 мм рт. ст. Зазначені методи вивчення функції легень дозволяють судити про вентиляційної, перфузійному і газотранспортної функціях. Поряд з ними необхідно враховувати дані клінічного спостереження, які також дають уявлення про ступінь дихальної недостатності.

ВИСНОВКИ

В Розділі 1 був проведений детальний розгляд дихальної системи, її органів та робота в цілому. Наведені основні показники, які використовуються при оцінюванні та проведенні встановлення рівня ефективної роботи системи. Отримані дані стали вихідними показниками для математичної моделі оцінювання стану дихальної системи.

# РОЗДІЛ 2

# ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

## 2.1. Основні етапи математичного моделювання

Математичне моделювання є складним процесом, метою якого є формалізація всіх параметрів, що описують даний об’єкт дослідження. в якості об’єкту дослідження в даній бакалаврській роботі обрана одна із система людського організму, яка є складним симбіозом різних факторів

Математична постановка задачі моделювання як сукупність математичних співвідношень, що описують поведінку та характеристики об’єкта моделювання. Необхідно формалізувати змінні моделі та зв’язки між ними. Математичний опис моделі складається на основі законів фізики, хімії тощо, які характеризують динаміку і статистику процесів в досліджуваному об’єкті, і виражається на мові будь-яких розділів математики. Найбільше поширення при побудові детермінованих моделей набули алгебраїчні рівняння та системи, звичайні диференціальні рівняння і диференціальні рівняння в частинних похідних, метрична алгебра, а при стохастичному моделювання і методи теорії ймовірності, математичної статистики та теорії випадкових процесів.

Для більшості складних об’єктів структура моделі містить параметри, які відображають особливості конкретних об’єктів. Пошук значень цих параметрів відбувається за допомогою методів параметричної ідентифікації проведення пасивного або активного експериментів, але у зв’язку з тим що на обраному об’єкті неможливо провести натурного експерименту особливо актуальним питанням стає математичне моделювання .

Для математичної моделі обирається один з методів розв’язку, який дозволяє при заданих значеннях вхідних змінних отримати значення вихідних змінних. Вибір методі обґрунтовується на підставі властивостей моделі, даних про точність вимірювання значень змінних, вимог до точності отримання розв’язку.

Метод математичного моделювання дозволяє виключити необхідність виготовлення громіздких фізичних моделей, пов’язаних з матеріальними витратами; скорочувати час визначення характеристик (особливо при розрахунку математичних моделей на комп’ютері і вживання ефективних обчислювальних методів і алгоритмів); вивчати поведінку об’єкту моделювання при різних значеннях параметрів; аналізувати можливості застосування різних елементів; отримувати характеристики і показники, які складно отримувати експериментально (кореляційні, частотні, параметричної чутливості).

При побудові математичних моделей об’єктів, що змінюються у часі (нестаціонарних об’єктів), часто застосовується методика аналітичного моделювання. Специфіка динамічного моделювання полягає в особливій побудові концептуальної моделі (гіпотези про механізм процесів) і формалізації залежностей математичної поставки [15].

Концептуальна модель ґрунтується на розгляді об’єкта на кількох рівнях декомпозиції. Як правило, виділяють явища на макро- і мікрорівні об’єкта. На макрорівні процеси розглядаються узагальнено. Наприклад, рух потоків маси і енергії, надходження грошових потоків та інше. На мікрорівні ці процеси розглядаються більш детально.

На кожному рівні декомпозиції виділяють явища і зв’язки між ними. При динамічному моделювання під явищем будемо розуміти зміну деякої величини. У концептуальній моделі описується перебіг кожного явища. Зв’язки між явищами поділяються на взаємозв’язки явищ одного рівня декомпозиції і зв’язки між явищами різних рівнів декомпозиції можливі зв’язки трьох видів:

* зв’язки між явищами на мікрорівні;
* зв’язки між явищами на мікро- та макрорівні;
* зв’язки між явищами на макрорівні.

Для спрощення явищ об’єкта з метою їх формального опису приймається ряд припущень. Припущення стосуються особливостей протікання фізичних, , хімічних та інших типів процесів на об’єкті моделювання. Припущення є однією з основних частин концептуальної моделі і обов’язково підлягають узгодженню з замовником, тому що безпосередньо впливають на адекватність моделі.

Для розв’язку динамічних моделей, як правило, використовують відповідні чисельні методі. Особливістю цих методів є дискретизація часу, призводить до апроксимації моделі різницевими рівняннями. Розв’язок моделі дозволяє отримати вихідні змінні у вигляді таблично-заданих функцій на заданому інтервалі часу .

Розробка процедури параметричної ідентифікації моделі включає:

* фізичну та формальну постановки задачі ідентифікації;
* вибір методу ідентифікації та його програмна реалізація;
* проведення експерименту та розрахунок значень параметрів.

Фізична постановка задачі ідентифікації формулюється на природній мові і включає перелік параметрів, значення яких необхідно знайти, вимоги до співпадіння значень вихідних змінних моделі та об’єкту (в які моменти часу, точність), вимоги до швидкості процедури (якщо ідентифікація відбувається в контурі управління).

Дослідження об’єкту моделювання і складання його математичного опису полягають у встановленні зв’язків між характеристиками процесу, виявлені його граничних і початкових умов та формалізації процесу у вигляді системи математичних співвідношень [12].

Процес побудови будь-якої математичної моделі можна представити послідовністю етапів (Додаток А).

На етапі дослідження об’єкта моделювання потрібно виконати наступні дії:

* аналіз взаємодії об’єкта з зовнішнім середовищем, виділення характеристик вхідних впливів та реакцій об’єкту, класифікація їх на вимірні та невимірні, керуючі та перешкоди;
* проведення декомпозиції та дослідження внутрішньої структури об’єкту;
* дослідження порядку функціонування об’єкту, виявлення зв’язку між виходом та входом, формування множини станів об’єкту;
* збір та перевірка існуючих експериментальних даних про об’єкт- його поведінки при дії факторів різного типу, при необхідності, додаткових експериментів;
* класифікація об’єкта моделювання на стаціонарний чи нестаціонарний, визначення міри впливу випадкових факторів на об’єкт та порядку нелінійності зв ‘язків між характеристиками об’єкту;
* аналітичний огляд літературних джерел, аналіз та порівняння побудованих раніше моделей подібних об’єктів;
* аналіз та узагальнення всього накопиченого матеріалу, розроблення загального пану створення математичної модулі.

В деяких випадках дослідження внутрішньої будови та порядку функціонування об’єкта моделювання неможливе або економічно недоцільне. Тому можливо розглядати об’єкт як «чорний ящик», стосовно якого нам відомі лише його входи та виходи [6].

## Моделювання біологічних процесів

У зв’язку з неможливістю проведення експериментів на біологічних об’єктах задачею магістерської роботи роботи є моделювання знаходження порушення в функціональній роботі дихальної системи за допомогою математичної формалізації.

Практика показу, що великі викликає навіть однозначне формулювання мети в кількісному вираження, так звана цільова функція, або критерій ефективності. При цьому часто доводиться одночасно вирішувати суперечливі задачі, наприклад, про підвищення ефективності лікування при зниженні факторів впливу на інші здорові органи. Задача полягає у тому, щоб знати екстремальне значення цільової функції, аргументами якої є продуктивність дихальної системи, якість роботи органів дихання, витрати ресурсів організму тощо. Необхідно також враховувати і те, що діяння управління можуть змінюватись лише у визначених межах. Крім того, на систему можуть бути накладені додаткові обмеження: на значення параметрів процесу, на складність алгоритму управляння, на обсяг використаної інформації і ін.

Оптимальне управління процесом дихання може розглядатись як прийняття визначених рішень, що відповідають змінам ситуацій. Прийняття рішення пов’язане з вибором якогось одного рішення і можливої множини. Чим більше варіантів, тим більше інформації необхідно для їх характеристики і тим більш громіздким буде опис усієї задачі [8].

В процесі прийняття рішення оперують функцією, аргументами якої є допустимі варіанти рішення, а значеннями – числа, що описують міру досягнення поставленої цілі. Задача прийняття рішення тим самим зводиться до знаходження максимального (або мінімального) значення цільової функції, а також значень аргументів, при яких цей максимум досягається.

Теоретичне дослідження фізичної системи починається з вивчення загальних законів, які відображають досвід, накопичений для інших аналогічних систем. Використовуються рівняння кінетики хімічних реакцій, енергетичного і матеріального балансу, що витікають з загальних законів збереження маси і енергії, і особливо закон великих чисел або великих мас.

Відповідно до сучасної моделі прийняття клінічного рішення, компетентність лікаря визначається не тільки знанням механізмів захворювань і клінічним досвідом, умінням оцінювати і використовувати в практиці наукову інформацію .

У різних медичних завданнях (збір інформації про хворого, діагностика, вибір тактики рішення) лікар стикається з проблемою прийняття рішень. При цьому з кожним роком зростають вимоги до точності діагнозу і його достовірності. Іншими словами - до його істинності. Математика як наука є основним інструментом в процесі пошуку істини, і, отже, в процесі прийняття рішень.

Під прийняттям рішень розуміється особливий процес людської діяльності, спрямований на вибір найбільш прийнятного варіанту вирішення проблеми. Прикладом може служити процес прийняття рішення про тип (форму) захворювання за відомою вихідної інформацією (результати аналізів, зовнішні прояви хвороби) або рішення проблеми, так званого, групового вибору рішень, коли основне завдання полягає в тому, щоб вказати «справедливі» принципи обліку індивідуальних виборів, що призводять до розумного групового рішення.

Медицина являє собою слабо структуровану область знання, що створює серйозні труднощі для процесу прийняття рішень. В одних випадках, що характеризуються класичними проявами хвороби, гіпотеза або навіть остаточне рішення виникає вже в процесі огляду, в інших - тільки після спеціального обстеження. Важливо зауважити, що послідовність діагностичних досліджень може піддаватися корекції, а іноді і докорінної трансформації, в залежності від одержуваних в процесі обстеження результатів. Швидкість прийняття рішення залежить як від кваліфікації та діагностичного "чуття" лікаря, так і від особливостей прояву захворювання у конкретного хворого.

Вільний доступ до програмного забезпечення дозволяє вирішити медичні завдання в інтерактивному (діалоговому, онлайн) режимі. Інтерактивний є таким режимом роботи, який здійснює взаємодію між людиною і комп'ютером. Застосовуючи інтерактивні процедури лікар може в діалоговому режимі знаходити оптимальні рішення задачі, змінюючи умови, обмеження завдання або параметри цільових функцій. На кожній ітерації (кроці виконання програми) лікар, як особа, яка приймає рішення для подальшого дослідження може генерувати нові умови задачі.

Інтерактивні процедури дають можливість для ефективного розподілу працю: комп'ютер виконує те, що він робить краще за все (обробляє дані), а ОПР на основі нової інформації розробляє методи для отримання кращого рішення. При цьому головна роль завжди залишається за людиною. Прийняти рішення - значить здійснити вибір з деякого набору альтернатив.

Як уже згадувалося, прийняття рішень, по суті, є ні що інше як вибір. Прийняти рішення - значить вибрати конкретний варіант дій з деякої безлічі варіантів. Варіанти вибору прийнято називати альтернативами.

Безліч альтернатив залежить, по-перше, від наявної бази знань: або алгоритм вирішення завдань вже міститься в базі, або алгоритму в базі немає, але є аналог, або завдання не має аналогів в базі знань. По-друге, безліч альтернатив залежить від проблемної ситуації: або вирішується нове завдання, або змінюється умова функціонування системи, або з'явилася нова інформація, або стався збій системи або її елементів.

Наслідком прийняття рішення називається подія (результат), можливість появи якого продиктована даним рішенням.

Система переваг - правила, критерії, за допомогою яких порівнюються альтернативи і приймаються рішення.

Рішення - рішення (альтернативи), що задовольняють правилам, що містяться в системі переваг.

Спільне завдання прийняття рішень (завдання вибору), можна сформулювати наступним чином [10].

## 2.3. Математичне моделювання і обчислювальні методи в задачах проектування систем організму та управління ними

Математичне моделювання є частиною процесу створення технічних засобів комп’ютерних систем управління, автоматики і інформаційно-вимірювальної техніки. Обчислювальні методи, що програмно реалізуються на комп’ютерах, стали основним практичним інструментом розробників комп’ютерних систем та автоматичних вимірювальних інформаційних пристроїв. Накопичений великий досвід використання обчислювальної техніки, застосування чисельних методів, створення спеціального програмного забезпечення при розв’язку різних практичних завдань в цій області. Розглянемо основні їх типи:

1. Ідентифікація динамічних характеристик лінійних ланок при використанні різних описів сигналів на їх входах і виходах.
2. Використання методу найменших квадратів для ідентифікації передавальної характеристики по масивах даних, що описують перехідну і частотну характеристики або сигнали на входах і виходах ланки.
3. Дослідження стійкості дихальної системи на основі використання різних критеріїв. Побудова області стійкості на площині параметрів системи.
4. Аналіз якості дихальної систем та гомеостазу організму. Визначення оптимальних дій управління організмом – розв’язок алгебраїчного рівняння Ріккаті (дискретний і безперервний випадки), до якого зводиться завдання про оптимальний лінійний регулятор.
5. Комп’ютерне статистичне імітаційне моделювання роботи організму, що включає: генерацію випадкових числових послідовностей, що імітують вимірювані величини і впливаючи фактори; моделювання перетворення інформативних параметрів сигналів в досліджуваних експериментах тощо.
6. Аналітичне імовірнісне моделювання гомеостазу і систем організму на основі взаємопов’язаних імовірнисних (закони розподілу ймовірності) і енергетичних (спектральні щільності потужності) моделей.
7. Розв’язок задачі визначення розподілу значень вимірюваної величини (швидкостей потоку, звукової хвилі, температур) в замкнутій області.
8. Дослідження функціональних показників системи методом планування експерименту.
9. Аналіз і оцінка невизначеності вимірювальних показників організму та його окремих систем на основі методів частинних похідних, імовірнісного моделювання тощо.
10. Розв’язання завдань ідентифікації роботи організму на основі оцінювання гомеостазу. У цьому напрямку накопичений невеликий досвід в створення різних пактів прикладних програм [14].

Основні етапи математичного моделювання, що використовується поданий в Додатку А.

## 2.4. Особливості прийняття рішення в лікарсько-діагностичних закладах

Процес прийняття рішень складний і багатосторонній. Він включає цілий ряд стадій і операцій. Питання, скільки і які стадії повинен пройти процес прийняття рішень, який конкретний зміст кожного з них, суперечливі і неоднаково вирішуються менеджерами. Це залежить від кваліфікації керівника, ситуації, стилю керівництва і культури навчального закладу. Важливо, щоб кожен інженер розумів сильні сторони й обмеження кожного підходу та процедуру прийняття рішення і вмів вибирати кращий варіант з урахуванням даних та виміряних показників, які описують досліджуваний об’єкт.

Класичний підхід до прийняття рішення полягає в дотриманні певної процедури і виконанні обов'язкових дій:

1. Основою всякого рішення є проблемна ситуація, яка вимагає розв'язання. Завдання дослідника на цьому етапі полягає в аналізі проблемної ситуації, тобто у визначенні симптомів "хвороби", вивченні стану справ і мети, попереднього формулювання критеріїв рішення.
2. Виявлення обмежень і визначення альтернатив. Причиною проблеми можуть бути сили, які знаходяться поза лікувально-діагностичним закладом (зовнішнє середовище) та які лікар не в змозі змінити.

Такі обмеження звужують можливості прийняття оптимальних рішень. Тому необхідно визначити джерело і суть обмежень і намітити можливі альтернативи. Тобто доцільно виявити всі можливі дії, які усувають причини проблеми.

1. Прийняття рішення. На цій стадії розробляються альтернативні рішення, дається їх оцінка і відбирається альтернатива з найбільш сприятливими загальними наслідками.
2. Реалізація рішення. Процес не закінчується вибором альтернатив, на стадії реалізації вживаються заходи щодо конкретизації рішення і доведення його до виконавців, тобто цінність рішення полягає в тому, що воно реалізоване.
3. Контроль за виконанням рішення. В процесі контролю виявляються відхилення і вносяться поправки, які допомагають реалізувати рішення повністю. За допомогою контролю встановлюється так званий зворотний зв'язок між керуючою і керованою системами.

Незалежно від підходу, який обрала особа, що приймає рішення, існують визначені кроки, які вона проходить у процесі прийняття рішень. Процес може бути розбитий на шість кроків:

* Визначення проблем*.*

Проблема складається в деяких відхиленнях від очікуваного ходу подій. Процес визначення проблеми полягає в її виявленні.

Виявлення проблеми є процес усвідомлення, що існує деякий вид проблеми. Джерела, з яких лікар може довідатися про існування проблеми, містять у собі особистий огляд, аналіз даних і документів пацієнта. Думка лікарів і їхніх підлеглих теж є важливим джерелом виявлення проблеми. Лікарі часто починають усвідомлювати суть проблеми з двох чи декількох таких джерел.

Визначення проблеми є процес встановлення масштабу і природи її' тоді, копи вона уже виявлена. Проблема виявлена, тепер вона повинна бути визначена. Необхідно встановити чи одиничний це випадок. Коли лікар визначить, що це був одиничний випадок, масштаб проблеми стане ясний. Зауважимо, однак, що причина проблеми не була з'ясована. Визначення масштабу проблеми не означає знаходження причини її джерела. Визначення проблеми являє собою тільки оцінку розміру і ступеня чи її серйозності. Результати часто залежать від того, чи буде пізніше проведене дослідження.

* Постановка цілей.

За визначенням проблеми випливає постановка цілей, що будуть основою для майбутнього рішення. Лікар ставить на меті досягти певних цілей, для цього потрібно розуміти, що буде досягнуто завдяки певному алгоритму дії.

* Розробка альтернативних рішень.

Альтернативне рішення полягає в тому, що існує два чи більше способи розгляду проблеми. Процес розробки альтернативних рішень проводиться для того, щоб знайти найкраще можливе рішення, з огляду на всі фактори, які впливають на процес прийняття рішень. Це допомагає запобігти вибору першого рішення. Замість того, щоб розглядатися окремо один від одного, варіанти рішень розглядаються разом.

Лікарі можуть спочатку оцінити одне рішення стосовно іншого, а потім вибрати краще з двох. Далі вони можуть повторити те ж саме з двома іншими. Потім два кращих обраних рішення порівнюються між собою і вибирається більш вигідне з цих двох. Ідея полягає в тому, щоб кожен варіант рішення був оцінений не тільки щодо мети, але й щодо інших варіантів.

Процес розробки альтернативних рішень зав'язаний на зборі актуальної інформації з проблеми та її аналізу. Інформація може бути отримана з багатьох джерел. Слід враховувати, що немає проблем, які можна досконально дослідити. Лікар повинен вирішити, коли припинити збір інформації і почати процес підбору альтернатив. Процес прийняття рішень не може бути абсолютно раціональним, тому що не можна зібрати абсолютно всю актуальну інформацію.

* Вибір альтернативи.

У цьому пункті лікар повинен визначити яка з альтернатив буде найкращим варіантом для вирішення задачі. Для реалізації цього, лікар повинен оцінити уважно широту розмаху альтернатив. Очікуваний ефект кожного варіанта повинен бути перелічений разом з оцінкою імовірності того, що цей ефект буде отриманий. Позитивний і негативний результати кожної альтернатива повинні бути передбачені. Лікар повинен поповнити цей підхід шляхом відповіді на наступні запитання з кожної альтернативи[13]:

1. Визначити ефективність альтернативи. Ефективність альтернативи може бути розрахована шляхом оцінки двох факторів: наскільки реальна альтернатива в умовах поставлених цілей і ресурсів організму та медичного закладу, і як добре вона зможе вирішити проблему. Лікар повинен пам'ятати, що ідеальне на папері рішення проблеми може таким у дійсності і не виявитися. Вибираючи альтернативу, лікарі повинні спробувати мінімізувати ризик виникнення додаткових проблем.
2. Імовірність того чи буде альтернатива реалізована. Якщо альтернатива не може бути здійснена, вона повинна бути усунута.
3. Які організаційні наслідки може мати альтернатива. Як вже було встановлено, лікар повинен визначити, чи не створить ця альтернатива непотрібних проблем. Він повинен також визначити, як організм людини будуте реагувати на дане рішення. Те, що альтернатива спірна, не виключає її. Але, оцінюючи альтернативу, можна довідатися реакцію людського організму. Лікарі повинні передбачити, який вплив альтернатива матиме на інші органи об’єкту та на поведінку всього організму в цілому.

* Реалізація альтернативи.

Вибір альтернативи передбачає її здійснення, тобто впровадження рішення в дію. Багато факторів задіяно в реалізацію рішення.

Оголошення альтернативи. Лікар повідомляє рішення чітко і без сумніву. Якщо альтернатива цінна, вона буде виконана.

Видача необхідних розпоряджень. Лікар повинен обговорити обрану альтернативу з пацієнтом, якого стосується виконання даного рішення. Розпорядження повинні віддаватися чітко, всі зміни пояснюватися.

Прийняття рішень, що будуть слідувати за теперішніми. Здійснення рішення часто вимагає прийняття наступних рішень, що будуть спрямовані на те, щоб здійснити перше якнайкраще. Але ухвала такого рішення може бути частиною вирішення загальної проблеми, яка спрямована на успішну реалізацію рішення.

* Оцінка результатів рішення.

Після того, як рішення реалізоване, лікарі повинні оцінити його ефективність. Основними показниками вдалого рішення є те, що воно досягло мети, було воно ефективне за витратами, допомогло пацієнту без включення допоміжних альтернатив чи змін планів лікування. Є два результати оцінювання результатів рішення:

* якщо рішення оцінене як неефективне, лікар може зустрітися з вибором іншої альтернативи чи створити новий список альтернатив;
* якщо рішення оцінене як ефективне, лікар повинен переглянути елементи, що зробили його таким. Досвід прийняття і здійснення кожного рішення стає безцінною частиною лікарського досвіду. Він буде використаний повторно для прийняття рішень у майбутньому.

Більш наглядно процес прийняття рішень зображений в Додатку Б. На якому виділено основні стадії розробки та задачі, як виконуються на кожній з них [17].

## 2.5 Метод експоненціального зваженого ковзного середнього (EWMA)

Експоненціальне середнє ковзне вважає більш пізні дані більш важливими. Отже, цей вид середнього ковзного швидше реагує на зміну показників дихальної системи.



Рис. 2.1 Приклад роботи методу

Прорахунок значення експоненціального середнього ковзного складніший: обчислення значення 5-ти денного експоненціального середнього ковзного на сьогодні проводиться за такою формулою:

EMA[k, n] = EMA[k-1, n]+(2/(n+1))·(P-EMA[k-1, n]), де

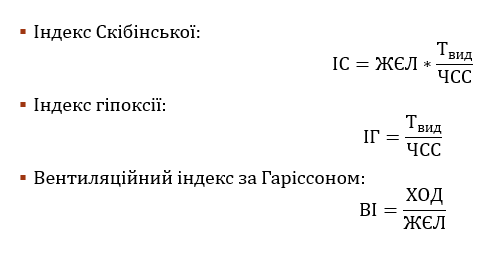
EMA [k, n] - експоненціальне ковзне середнє періоду n на момент k

P – поточний значення показника оцінки стану дихальної системи.

Суть методу полягає в тому, що, при прорахунку експоненціального середнього ковзного, більш ранні данні мають менше значення, а більш пізні - більшого значення[21].

## 2.6 Створення математичної моделі для оцінки функціонального стану дихальної системи.

Для оцінювання дихальної системи були обрані наступні показники:



* *Індекс Скібінської* характеризує не тільки потенційні можливості системи зовнішнього дихання, її стійкість до гіпоксії, але і, певною мірою, рівень узгодженості функціонування з системою кровообігу. Формула для розрахунку індексу Скібінської має такий вигляд:

ІС = ЖЄЛ • Твид / ЧСС

де ІС – індекс Скібінської, у.о.;

ЖЄЛ – фактична величина життєвої ємності легенів, мл;

Твид – час затримки дихання на видиху, с.;

ЧСС – частота серцевих скорочень, уд/хв.

В нормі у здорових нетренованих чоловіків значення ІС складає 2500–3900 у.о., у жінок - 1500–2900 у.о. В осіб, які систематично займаються фізичною культурою і спортом, спостерігаються більш високі величини індексу Скібінської: серед чоловіків - 3500–4900 у.о., серед жінок - 3000–4400 у.о. Більш докладні відомості щодо значень індексу Скібінської у представників різної статі, віку і рівня тренованості наведено в додатках.

* *Індекс гіпоксії (ІГ)*. Цей розрахунковий показник характеризує ступінь стійкості організму до дефіциту кисню. У спортивній функціональній діагностиці індекс гіпоксії набуває важливого значення у процесі обстеження спортсменів, які виконують фізичні навантаження з великою кисневою заборгованістю (дистанції спринтів в циклічних видах спорту, деякі види спортивних ігор тощо). Традиційно величину індексу гіпоксії розраховують за такою формулою:

ІГ = Твид. / ЧСС ,

де ІГ – індекс гіпоксії, у.о.;

Твид. – час затримки дихання на видиху, с.;

ЧСС – частота серцевих скорочень, уд/хв.

В нормі у здорових нетренованих чоловіків значення ІГ складає 0,409–0,586 у.о., у жінок - 0,369–0,546 у.о. В осіб, які систематично займаються фізичною культурою і спортом, реєструються більш високі величини індексу гіпоксії: серед чоловіків - 0,609–0,786 у.о., серед жінок - 0,509–0,686 у.о. Більш докладні відомості щодо значень індексу гіпоксії у представників різної статі, віку і рівня тренованості відбито в додатках.

* Вентиляційний індекс (ВІ). Цей розрахунковий показник свого часу було запропоновано Ґаррісоном. Вентиляційний індекс розглядається як відношення хвилинного об’єму дихання до життєвої ємності легень. На думку більшості фахівців, значення ВІ можна визначити як критерій реалізації потенційних можливостей системи зовнішнього дихання конкретного реципієнта. Вочевидь, що це положення справедливо при достатньо високих величинах ЖЄЛ і ДО (відомо, що висока величина ХОД може визначатися як несприятливим підвищенням ЧД, так і більш оптимальним шляхом – за рахунок збільшення дихального об’єму). В загальному виді формула для визначення значень вентиляційного індексу за Ґаріссоном має такий вигляд:

ВІ = ХОД / ЖЄЛ

де ВІ – вентиляційний індекс Ґаріссона, %;

ХОД – хвилинний об’єм дихання, л/хв;

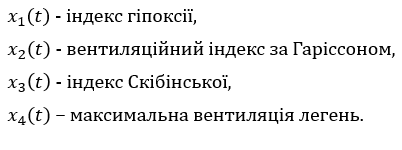
ЖЄЛ – фактична життєва ємність легень, л.

В нормі вентиляційний коефіцієнт Ґаріссона складає 1,2–2,6%. Для спортсменів характерним є деяке зниження цього параметру (в основному, за рахунок підвищення значень життєвої ємності легень).

Аналіз літературних джерел довів активне використання зазначених показників для оцінювання дихальної системи, вони є основними в визначенні рівня функціонального стану дихальної системи людини [1,8,16].

Але для оцінювання функціонального стану необхідний інтегральний показник, який би надав змогу врахувати всі зазначені вище показники. тому в бакалаврській роботі запропонована наступна модель функціонування дихальної системи, а саме:

,де



На основі зазначеної формули була розроблена модель функціонального стану дихальної системи, що зазначена на рис.3.10. Дана модель була розроблена в програмному середовищі Visio з пакету офісних програм Microsoft Office.

Для створення моделі були використані необхідні дані отримані в результаті обробки отриманої інформації з патентного пошуку. Проте розроблена модель значно відрізняється від запропонованої в патенті.

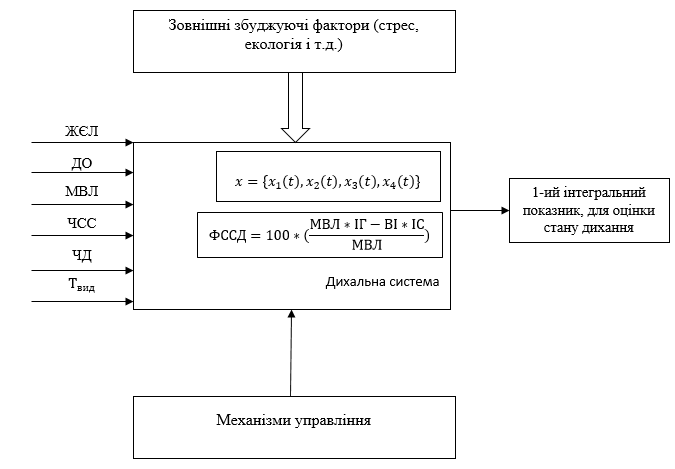


Рис. 2.2. Модель дихальної системи людини

На вході даної моделі є показники, які вимірювались експериментально, тобто за допомогою спірографа: життєва ємність легень, дихальний об’єм та максимальна вентиляція легень, всі показники вимірюються за хвилину.

Також присутні показники, які були зняти вручну лікарем : частота серцевих скорочень, частота дихання та час затримки повітря на видиху.

Отримані дані є основними для отримання інтегрального показнику, який вказуватиме на рівень функціональності дихальної системи.

Необхідно також враховувати, що на дихальну систему впливають і зовнішні чинники, а саме: екологія, стреси, вік, місце роботи, паління та ін. Адже в залежності від впливу того чи іншого може суттєво погіршитись як стан дихальної системи, так і інші показники всіх систем організму.

Невід’ємною частиною являються також механізми впливу на модель, які вносять свої негативні або позитивні корективи на поводження моделі в цілому. Вони мають вплив на точність роботи моделі та на її адекватність.

Всі необхідні дані оброблюються в моделі, проходять етапи які закладені в основі самої моделі. В середині моделі відбувається обробка вхідних даних, розрахунок відповідно цілям моделі , яка повинна мати чітко сформовану ціль та коректно поставлені задачі для виконання.

На виході з отриманої моделі маємо інтегральний показний, для оцінки рівня стану дихальної системи людини. Який не є кінцевим результатом, а лише проміжним для скріниногових систем, він вказує на наявність проблеми в функціонування системи та дає змогу лікарю зрозуміти, в якому напрямку необхідно надалі робити додаткові обстеження . Інтегральний показник впливає на остаточну оцінку системи, вносить свої корективи стосовно розуміння ступеню проблеми наявної в системі.

Запропонована модель дозволить у експресному режимі проведення досліджень, до 3 хвилин на досліджуваного, об'єктивно визначати функціональний стан системи дихання, що сприятиме диференціації алгоритму наступних дій: визначенню параметрів, що обмежують функціональний стан системи дихання, додатковому дослідженню з цілеспрямованим використанням додаткових методів діагностики, а також диференціації застосування преформованих фізичних чинників.

ВИСНОВКИ

В Розділі № 2 були проаналізовані інформаційні джерела та виявлені основні етапи в побудові математичних моделей для біологічних процесів. Проаналізовані існуючі методи досліджень функціональної робити дихальної системи, їх методи роботи, переваги та недоліки.

# РОЗДІЛ 3

# РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Статистичнийконтроль медикобіологічних показників технологічного процесу – один з головних напрямків застосування математичної статистики в медицині. Його основна суть полягає в тому, що керуючий вплив застосовується тоді, коли функціональний стан організму ще задовольняє вимогам і відповідає нормам, але деякі статистичні показники дають підставу припускати про наявність невипадкових причин, вплив яких з часом може призвести до суттєвих порушень стабільного стану організму[19].

Першим практичним інструментом для вирішення питання про необхідність такого втручання - контрольна карта - був запропонований У. Шухартом: сигнал про розлад процесу подається при виході контрольованого показника за деяку порогову межу. Ідея Шухарта знайшла міжнародне визнання на увазі простоти і, в деякій мірі, універсальності і була покладена в основу де-яких технічних міжнародних стандартів, в яких викладаються різні модифікації методу.

В даний час використовується три основні підходи до вирішення завдання статистичного контролю процесу і різні їх модифікації :

* перший, який базується на критерії Неймана-Пірсона, являє собою контрольну карту Шухарта - історично найперший метод діагностики ;
* другий підхід заснований на багаторазовому застосуванні послідовного аналізу Вальда і реалізований на практиці у вигляді контрольних карт кумулятивних сум (CUSUM);
* нарешті, третій підхід до виявлення порушення роботи системи базується на експоненційному згладжуванні - метод експоненціального зваженого ковзного середнього (EWMA).

Ці підходи і відповідні їм різні методи і алгоритми успішно застосовувалися при контролі стабільності процесів, що характеризуються одним показником стабільності функціонального стану.

У зв'язку зі складністю оцінювання організму якість оцінювання характеризується кількома показниками, які можуть бути корельовані. При цьому незалежний контроль за окремими показниками може призвести до помилкових рішень про розладу (або навпаки) організму. Можливий як пропуск фактичного розладу організму, так і необґрунтоване прийняття рішення про нестабільності організму при виході його контрольованих характеристик за контрольні межі.

У зв'язку з викладеним вище, становить інтерес дослідження можливостей однопараметричних критеріїв при оцінюванні стабільності організму на основі багатопараметричних параметрів. В [18,20,22] наводиться аналіз сучасних методів побудови багатопараметричних контрольних карт, їх чутливості при наявності кореляції між показниками якості. Однак найбільшою універсальністю володіють карти Хотелінга, які фактично є «наступником» карт Шухарта при контролі стабільності багатоопараметрических об'єктів контролю. Раніше вони не знаходили широкого застосування в медицині, але з розвитком засобів обчислювальної техніки і відповідного програмного забезпечення карти Хотелінга знаходять все більш широке застосування

У разі контролю стану організму за кількома параметрами, карти Шухарта можна успішно використовувати при впевненості, що ці параметри некорельовані. При цьому для сукупності контрольних карт Шухарта середнього значення (-карт) рівень значущості при розрахунку для кожного показника визначається виходячи із загального рівня значущості для характеристичного результуючого вектора  [24]. Якщо немає інформації про значущість кожної зі складових вектора , то всі  рівні і визначається як .

При цьому, верхні і нижні контрольні межі для -го - параметра організму з співвідношень:

– для верхньої межі:

;

– для нижньої межі:

,

де  и  среднє значення та СКВ, визначені по результатах попередніх исследований или указанные в нормативных документах.

В такому випадку області розсіяння допустимих значень результуючого вектора  буде відповідати гіперпаралелепіпед зі сторонами, які відповідають .

Для перевірки гіпотези :  в одновимірному випадку за вибіркою обсягом *п* при відомій дисперсії генеральної сукупності використовується статистика

. (3.1)

При розгляді багатовимірної випадкової величини, якщо звести ліву і праву частини виразу (1) до другого степеня, отримаємо вираз

, (3.2)

яке в матричної формі можна представити як

. (3.3)

Отриманий вираз є узагальненою характеристикою Хотелінга (– статистика Хотелінга), яка застосовується при оцінюванні якості багатопараметричного контролю при наявності кореляції його показників [23].

Багатовимірної випадкової величини відповідає коваріаційна матриця

, (3.4)

де  – коефіцієнт кореляції між величинами  и ( – число випадкових величин – контролюючих параметрів).

При відомій коваріаційній матриці  статистика Хотелінга має розподілення. В цьому випадку при статистичному контролі багатопараметричного об'єкта положення контрольованої кордону на заданому рівні значимості  визначається безпосередньо по таблиці квантиль розподілу т, тобто.

. (3.5)

Слід також відзначити особливість застосування критерію Хотелінга - на підставі відомої коваріаційної матриці можна розраховувати «точкові» значення..

Відмінність результатів, отриманих з використанням карт Шухарта і Хотелінга при контролі багатопараметричного процесу, розглянемо на прикладі Оцінити стабільність організму можна використовуючи карти Хотелінга. Як уже зазначалося, в якості контрольної лінії вибирається квантиль розподілу для рівня статистичної значущості  та числа ступенів свободі  [17],

.

Потім, відповідно до виразу (3.3), необхідно для кожної підгрупи спостережень розрахувати . При двопараметричного контролі ковариационная матриця запишеться як

,

а дискримінант , тоді обернена маттриця матиме вигляд:

.

Тепер розглянемо результати критерію в площині показників  и . Виходячи з щільності спільного нормального розподілу:

,

рівняння еліпса розсіювання, що є фактично межами карти Хотелінга, набуде вигляду:

Знаходження точок, що відповідають значенням середніх в підгрупах, в межах цього еліпса, свідчить про статистичну керованості технологічного процесу, тобто розсіювання значень обумовлено впливом випадкових величин.

У багатьох практичних завданнях дисперсії і коваріації, як правило, невідомі і використовуються вибіркові оцінки.

В випадку, коли каваріаційна матриця невідома, для отримання -розподілу використовують аналогічно з (1) -розподіл Ст'юдента

,

але тільки для багатовимірного випадку, тобто використовуємо векторну форму подання статистики.

У багатовимірному випадку обчислюється незміщена оцінка  матриці . В такому випадку статистика -Хотелінга задаеєся формулою:

 (3.6)

якщо гіпотеза :  вірна, то величина

 (3.7)

Має нецентральне -розподілення с  и  степенями свободи.

Отримане на основі виразу (5) значення  зіставляється з критичним значенням для заданого рівня статистичної значущості  та чисел степенів свободи  и  (). Критичне значення статистики Хотелінга визначається як:

 (3.8)

При цьому незміщена оцінка коваріаціонної матриці визначається на підставі виразу:

,

де  – число точок в вибірці / підгрупі.

Розрахункове значення статистики Хотелінга, певне на підставі виразу (3.8), порівнюється з критичним значенням . якщо  більше критичного значення, то гіпотеза *Н*0 не приймається.

Таким чином, при відомих (заданих) середньоквадратичних відхиленнях показників організму можна, обчислюючи статистику Хотелінга , виявляти розладнаність процесу в реальному масштабі часу. При невідомих же СКВ оцінюється статистична керованість процесом за певний період.

Слід зазначити, що сам по собі критерій Хотелінга дозволяє оцінити стан процесу в цілому, не виділяючи причину його розладу. Карта Хотелінга не показує, з яким безпосередньо показником (або спільним впливом показників) пов'язане порушення процесу.

Для перевірки гіпотези про те, що причиною розладу процесу є *j*-й показник, використовується критерій Хотелінга [14].

перевіряється гіпотеза > , де

, (3.9)

де  – спеціальний вектор, нівелює значення всіх ознак, крім *j*-го, і являється вектором-стовпчиком, який містить нулі у всіх рядках, крім *j*-го, де стоїть одиниця.

Для виявлення причин некерованості розглянемо приватний критерій Хотелінга, вважаючи послідовно  и  (виявлення ознаки, який привів до некерованості процесу).

При контролі однопараметрических технологічних процесів широко використовуються карти Шухарта. Однак, при контролі двох-і більше параметричних процесів через наявність кореляції між показниками організму їх застосування в більшості випадків дає помилковий результат (як виявлення, так і не виявлення розладу процесу). Достовірний результат в такому випадку дає застосування многопараметрических критеріїв.

До останнього часу застосування многопараметрических критеріїв було обмежено складністю обчислень. Однак широке поширення сучасних засобів обчислювальної техніки зняло ці обмеження. Серед безлічі многопараметрических методів використання критерію Хотеллінга дозволяє визначити стан організму як поетапно, так і в цілому, виявити показник або поєднання показників, які суттєво впливають на статистичну керованість технологічного процесу.

## 3.1 Розрахунок біологічного процесу за допомогою статистики Хотелінга некорельованих величин

Для проведення розрахунків буде використана – статистика Хотелінга, яка дозволяє виявити, які саме показники або їх поєднання, можуть вказати на порушення в організмі зимівників.

Проведемо розрахунки для 10 членів полярної експедиції 2015-2016 рр на станцію Вернадського, аби виявити порушення в роботі дихальної чи серцево-судинної системи.

Зібравши дані по 4 обраним показникам за рік, зіставимо значення в таблицю окремо для кожного оператора (зимівника) (рис. 3.1). Дані в таблиці відповідають отриманим результатам щомісячного спірографічного дослідження. Також в таблиці виведене середнє значення для кожного показника.

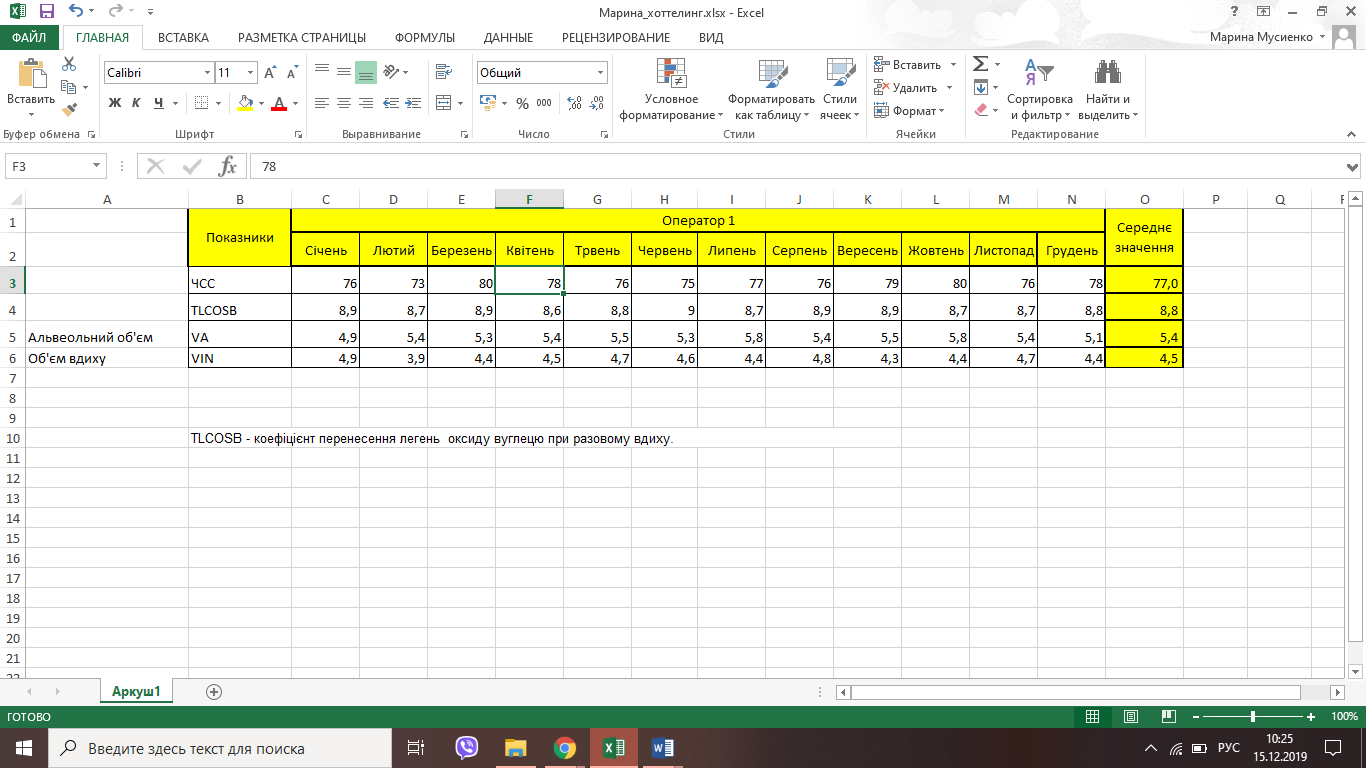


Рис. 3.1 Вхідні даня для оператора 1

На основі наявних даних отримуємо оцінку коваріаційної матриці для першого оператора:

=

== 0,012

Для розрахунку критерія Хотелінга необхідно визначити обернену матрицю S. Для першого випадку вона матиме вигляд:

На підставі вихідних даних, наведених в рис. 3.2, розраховуємо Т2 - критерій Хотелінга.

,76

Критичне значення Т2 – критерію для заданого рівня значущості α=0,05 буде дорівнювати:

Таким чином, , а це означає, що функціональний стан організму зимівника стабільний, і те що на показники дихальної системи не впливали екстремальні кліматичні умови.

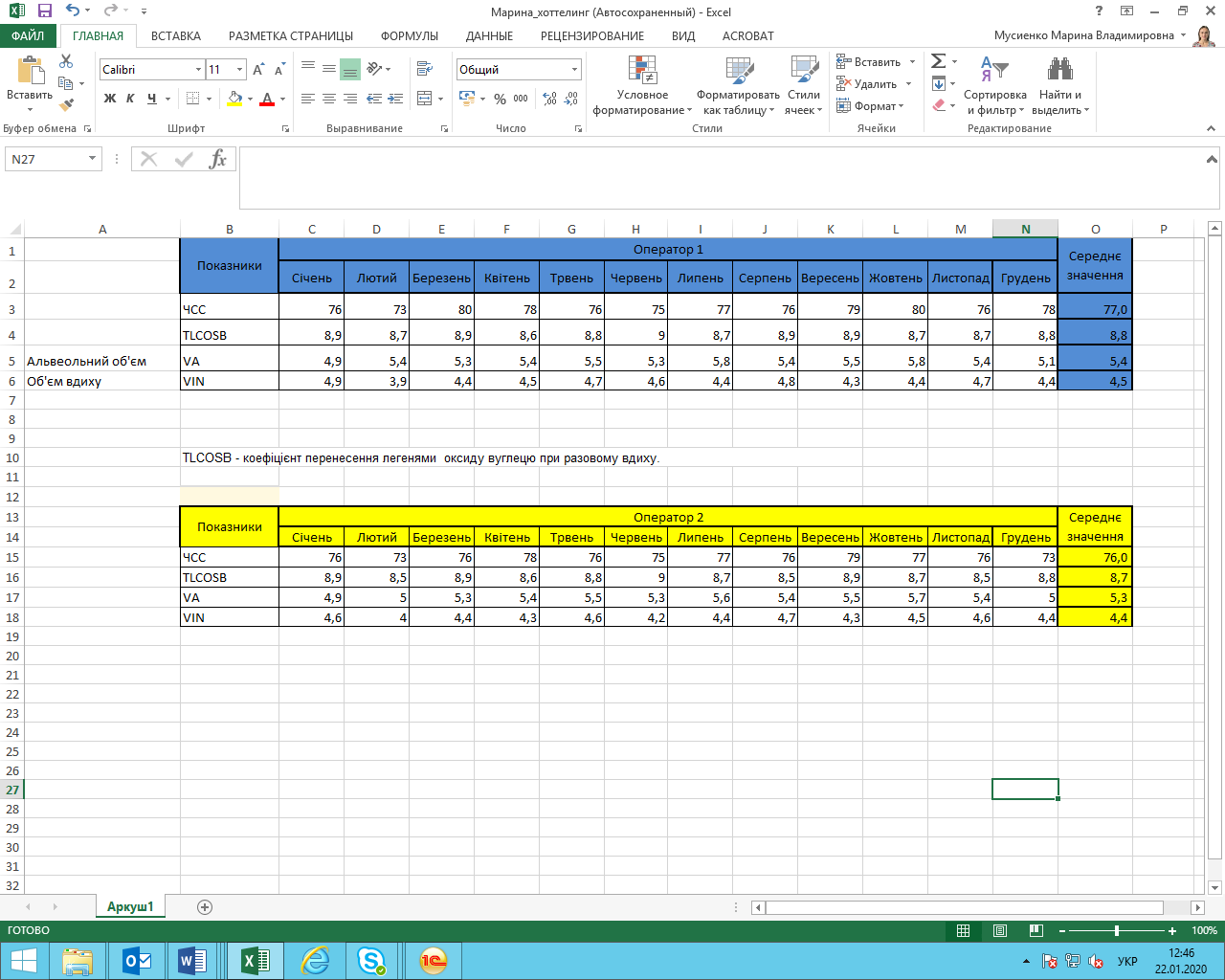
Проведемо аналогічні розрахунки для ще для дев’яти операторів.

Рис.3.2 Вхідні данні Оператора 2

На основі наявних даних отримуємо оцінку коваріаційної матриці для другого оператора:

=

Для розрахунку критерія Хотелінга необхідно визначити обернену матрицю S. Для першого випадку вона матиме вигляд:

На підставі вихідних даних, наведених в рис. 3.2, розраховуємо Т2 - критерій Хотелінга.

=

Критичне значення Т2 – критерію для заданого рівня значущості α=0,05 буде дорівнювати:

Таким чином, , а це означає, що функціональний стан організму зимівника стабільний, і те що на показники дихальної системи не впливали екстремальні кліматичні умови.

## 3.1.2 Розрахунок критерію для оператора 3

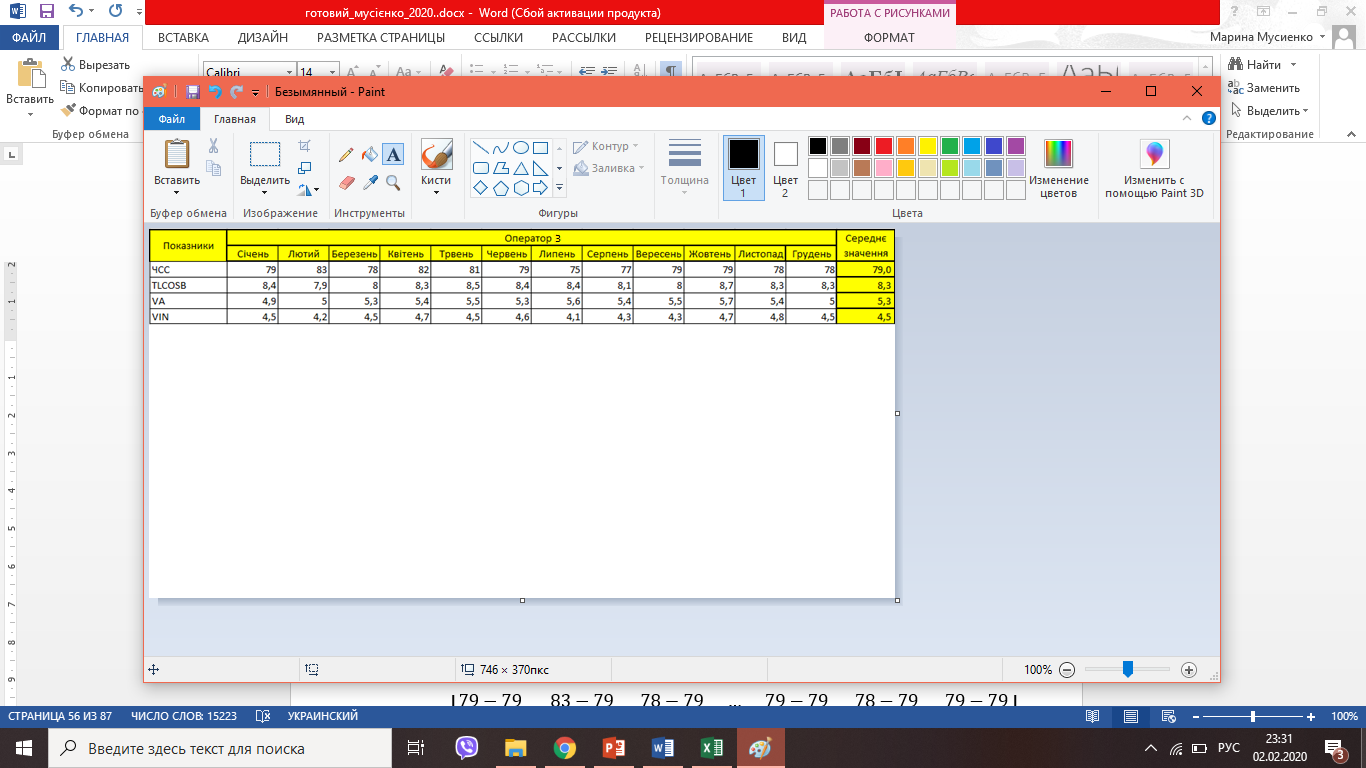


Рис. 3.3 вхідні дані оператора 3

На основі наявних даних отримуємо оцінку коваріаційної матриці для другого оператора:

=

Для розрахунку критерія Хотелінга необхідно визначити обернену матрицю S. Для першого випадку вона матиме вигляд:

На підставі вихідних даних, наведених в рис. 3.2, розраховуємо Т2 - критерій Хотелінга.

На основі розрахунків отримуємо, , означає, що функціональний стан організму зимівника був не стабільний на протязі року перебування в екстремальних умовах. Таким чином можна зробити висновок адаптаційний потенціал зазначеного зимівника був порушений при виконанні своїх професійних обов’язків в екстремальних умовах Анатрктиди. Проведемо розрахунок для кожного показника окремо. Розглянемо кожний показник:

Знаходимо значення коефіцієнта Хотелінга для ЧСС:

Визначаємо коефіцієнт для коефіцієнту перенсення оксиду:

Аналогічно робимо розрахунок для альвеольного об’єму:

Визначаємо коефіцієнт для об’єму вдиху:

Оскільки , це говорить про те, що на показник об’єм вдиху пливали екстремальні фактори Антарктиди, а тому цей показник виходить за встановлене критичне значення. Показники , та не є причинами функціональних змін в організмі зимівників.

Аналогічним чином були розраховані показники функціональності стану дихальної системи всіх учасників антарктичної експедиції. Результати розрахунків та порівняльного аналізу подані на рис.3.4.

Розрахункові значення порівняні з критичними значеннями. Якщо значення перевищує значення тобто контрольної границі, то можна зробити висновок про порушення функціонального стану організму зимівників в тому числі виходу за межі норми гомеостазу. Результати порівняльного аналізу подані в графічному вигляді на рис.3.4.

Червоною лінією встановлене критичне значення. Всі значення, які знаходяться вище червоної лінії свідчать про порушення функціонального стану зимівників до екстремальних умов Антарктиди. Можна зробити висновок, що меншість оброблених результатів виходять за межі критичного значення, що свідчить про частково негативний вплив на організм зимівників через показники дихальної системи..

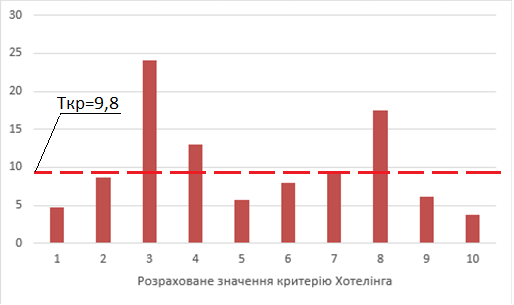


Рис. 3.4 Графік отриманих значень

## 3.2 Розробка методики для оцінювання функціонального стану дихальної системи

На основі проведених розрахунків було розроблено наступну методику, щодо визначення функціональної роботи дихальної системи в полярних умовах:

1. Зняти необхідні вхідні значення:

* Частоту серцевих скорочень;
* Коефіцієнт перенесення легенями оксиду вуглецю при разовому вдиху;
* Альвеольний об’єм
* Об’єм вдиху.

1. Провести спірографічні дослідження для відслідковування показників дихання, необхідно щомісяця протягом року.
2. Зібрати в єдину базу данні на знайти для кожного показника середнє значення.
3. Побудувати матрицю, даними якої будуть різниця значення виміряного показника від його середнього значення, .
4. Розрахувати значення матриці та творити її обернену форму.
5. Розрахувати для даного випадку, використовуючи табличні значення (рівня значущості).
6. Використовуючи обернену матрицю розрахувати критерій для кожного показника функціональності системи.
7. Порівняти .
8. Якщо ., показники знаходять с нормі. Фактори навколишнього середовища не мають сильного впливу ні на один з показників.
9. Якщо , необхідно провести додаткові розрахунки Т-критерію окремо для кожного фактору.
10. Порівняти з отриманими вирахуваними значеннями Т-критерія для кожної з багатовимірної досліджуваної системи.
11. Той показник, який матиме значення більше ніж , є нестабільним в даного оператора. Тобто на нього мають вплив фактори навколишнього середовища.
12. Необхідно передати дані лікарю, для подальших рекомендацій щодо підвищення рівня функціонального стану.

## Алгоритм визначення проведення діагностичної методики для дихальної системи

ні

так

Показники в нормі

Провести розрахунок для кожного показника окремо, порівняти

ні

так

Введення виміряних даних:

***TLCOSB, VA, VIN, ЧСС.***

Розрахунок та порівняння значень

для кожного показника

Показники не в нормі, передати дані лікарю

Рис.3.5 Алгоритм методики оцінювання дихальної системи

До останнього часу застосування багатопараметричних критеріїв було обмежено складністю обчислень. Однак широке поширення сучасних засобів обчислювальної техніки зняло ці обмеження. Серед безлічі багатопарметричних методів використання критерій Хотелінга дозволяє визначити хід біологічного процесу як поетапно, так і в цілому, виявити показник або поєднання показників, які суттєво впливають на статистичну керованість біологічного процесу.

# РОЗДІЛ 4

# ВПЛИВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЛЮДИНУ В УМОВАХ АНТАРКТИЧНОГО КЛІМАТУ

## 4.1 Характеристика природних кліматичних умов.

Українська станція «Академік Вернадський» розташована в Антарктиці на маленькому острові (65 ° 15 'пд. Ш., 64 ° 15' зх. Д.). Геологічна структура прилеглій території не має рівних майданчиків для повітряного транспорту і зручних бухт для підходу морських суден. Природні умови дозволяють виконувати заміну екіпажу станції тільки один раз в рік (антарктичним влітку) і проводити короткочасні сезонні роботи. Для виконання національної Програми та міжнародних зобов'язань дослідження проводяться в горах і на льодовиках, в прибережних і шельфових регіонах, в воді і підводних глибинах. Основна частина наукових робіт виконується зимівниками протягом року. Учасники експедиції тривалий час ізольовані від звичного соціального середовища, живуть в умовах формування мікросоціуму і постійного впливу екстремальних факторів. Системи життєзабезпечення станції дозволяють підтримувати нормальний рівень професійної діяльності

Погода і клімат у районі станції “Академік Вернадський” визначаються її розташуванням на островах Аргентинського архіпелагу, віддалених на 8-10 кілометрів від західного узбережжя Антарктичного півострова. Значною мірою вітровий режим та характер погоди в районі станції формує гірський ланцюг півострова: те, що його берегова лінія розчленована, а окремі вершини сягають 2800 м, сприяє народженню локальних явищ, таких як фени, стокові вітри, що досягають станції, типова орографічна хмарність. Сам архіпелаг Аргентинських островів через невелику площу та переважно плескатий рельєф не має значного впливу на погодні умови.

Клімат станції – відносно м’який (морський субантарктичний). Оскільки Тихий океан, південні води якого оточують острови архіпелагу, діє як гігантський акумулятор тепла, взимку тут температура повітря рідко опускається нижче -20 °С. Влітку, навпаки, вихолоджена вода та сніговий покрив не дозволяють повітрю прогрітися набагато вище нуля.

## 4.1.1 Середні щомісячні та річні характеристики температури повітря

Характеристики щомісячної температури на полярній станції імені Вернадського, зображені у вигляді гістограми на рис.4.1. Проаналізувавши данні за один рік можемо зробити зробити певні висновки:

* Найнижча температура сягає до -20 в період липня-серпня-жовтня.
* Найтеплішим періодом є січень-березень-травень. Температура сягає +7.
* Найнижчий показник мінімальної річної температури припадає на серпень місяць, та має відмітку – 22
* Найвищий показник максимальної річної температури припадає на квітень місяць та сягає позначки +7.

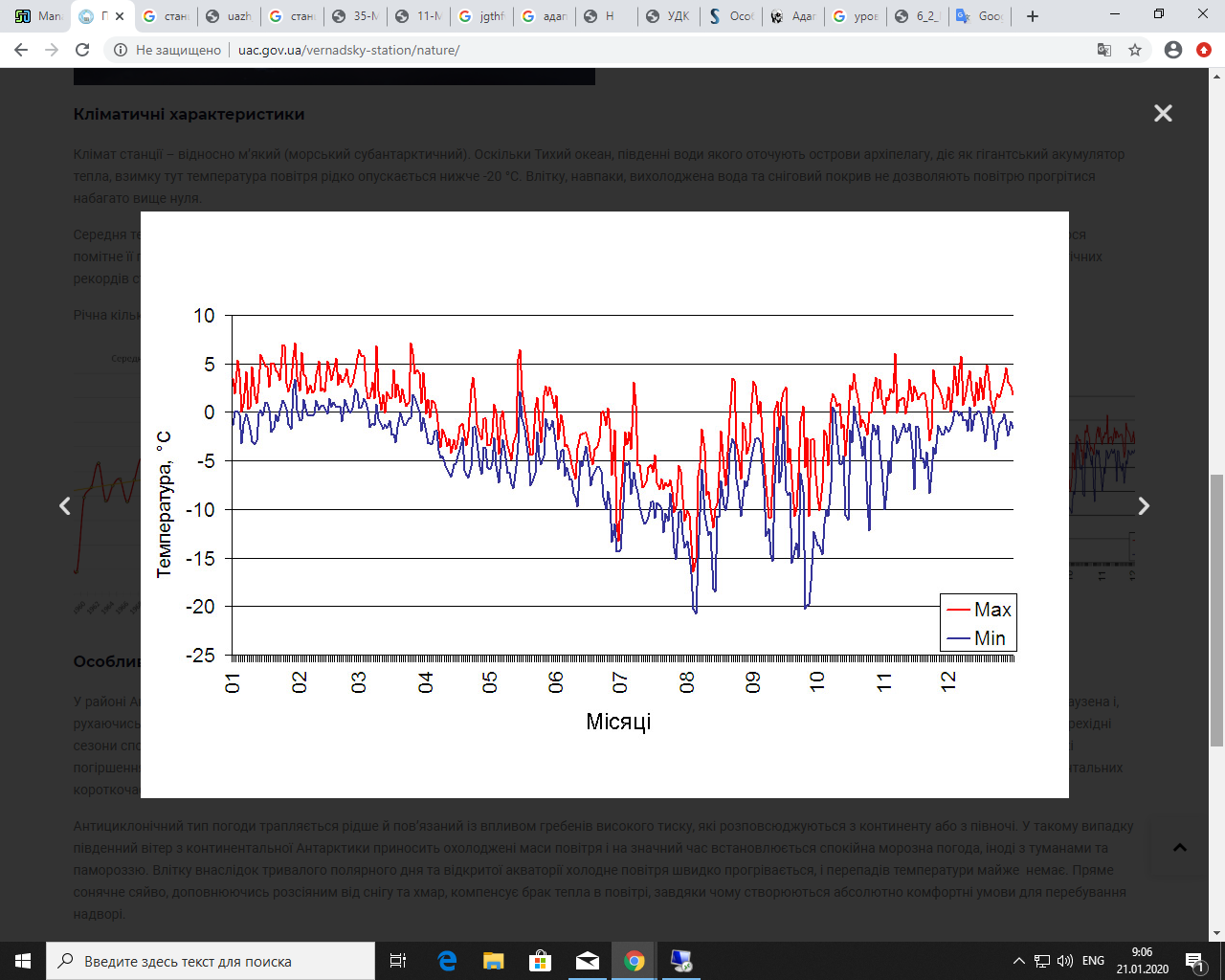


Рис.4.1 Показники річної температури на станції Вернадського

Маючи максимальну та мінімальну місячну температуру, можна встановити показник середньої температури кожного місяця. Це дає змогу вирахувати середню температуру за рік.

Отриманий результат заносять в реєстр та зіставляють діаграму.

Проаналізувавши діаграму (рис.4.2) можна зробити такі висновки:

* Найнижча річна температура зафіксована в 1959 році. Температура становила -8
* Найвищий показник зафіксований 1989 року. Середня річна температура була на відмітці -1.
* Провівши експоненціальну пряму, яка починається з першого показник і закінчується останнім, спостерігаємо зміну клімату.
* Зміни клімату на полярному континенті, є ще одним доказом про глобальне потепління.

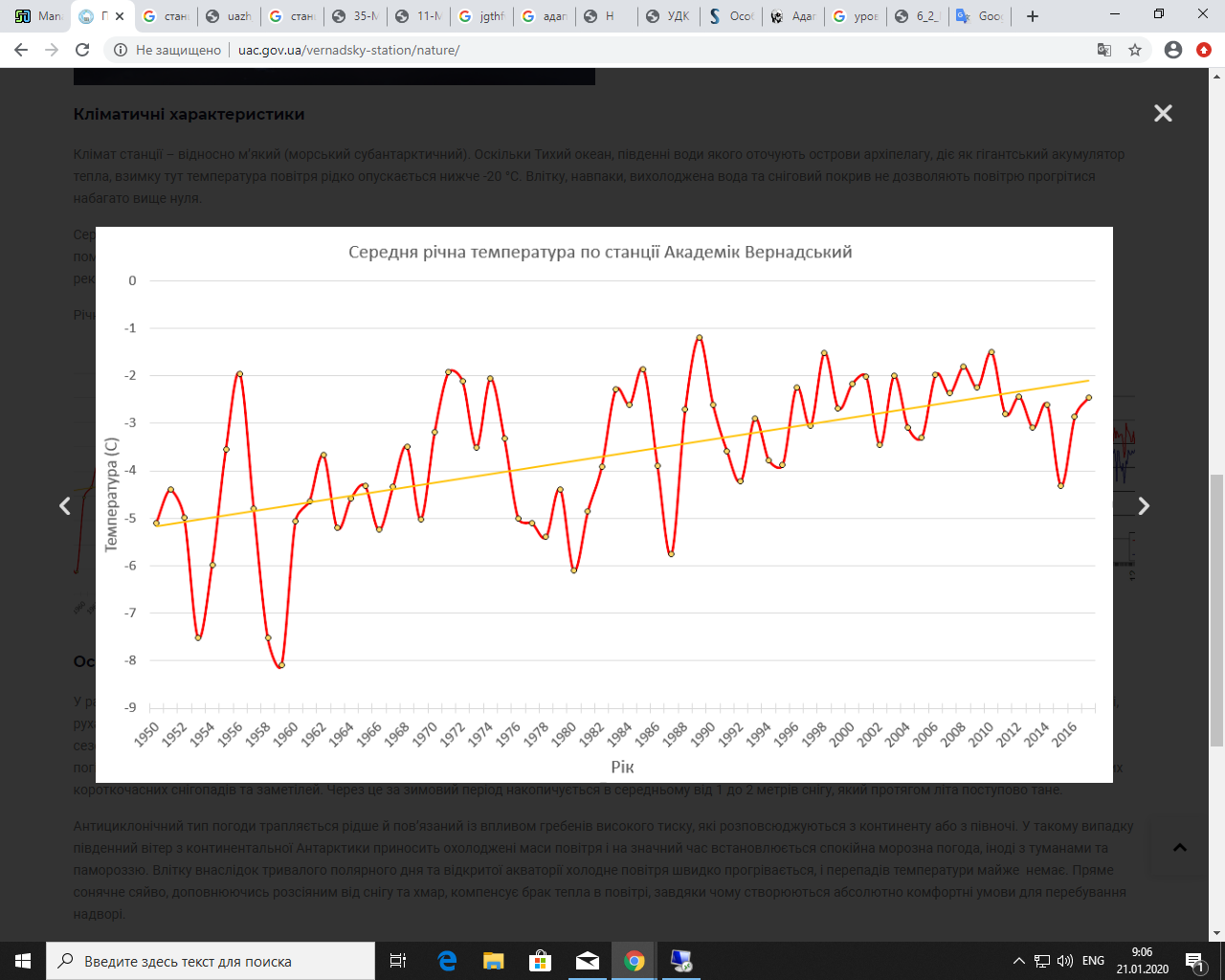


Рис. 4.2 Середня річна температура станції Вернадського 1950-2016 рр.

## 4.1.2 Середні щомісячні та річні характеристики кількості опадів

Відстеження змін кількості опадів на території арктичного материка - одна з головних задач полярників на станції Вернадського. Щодня знімаються дані про осади та вносяться базу. Для наглядного аналізу будується гістограма (рис.4.3).

За допомогою графіку можна встановити певні закономірності в сезонності опадів. Також можна встановити мінімальну та максимальну кількість опадів на станції Вернадського.

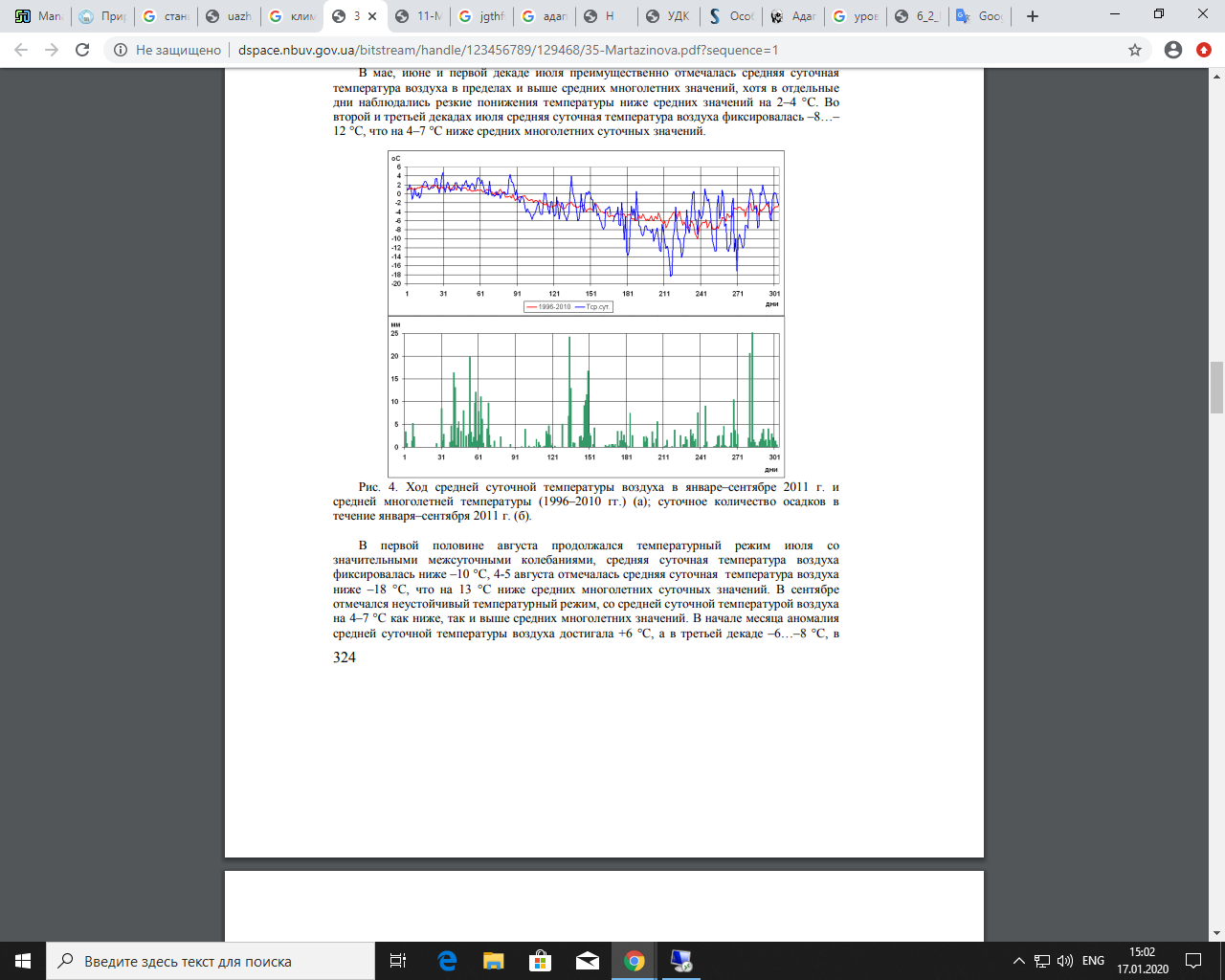


Рис. 4.3 Кількість опадів на станції Вернадського за 2012 рік.

Проведення річного аналізу кількості опадів необхідний для зіставлення їх в загальну базу даних. Для моніторингу стану клімату створена діаграма (рис.4), яка показує щорічний середній показник опадів від самого початку експедицій українських полярників до останнього оновлення бази даних.

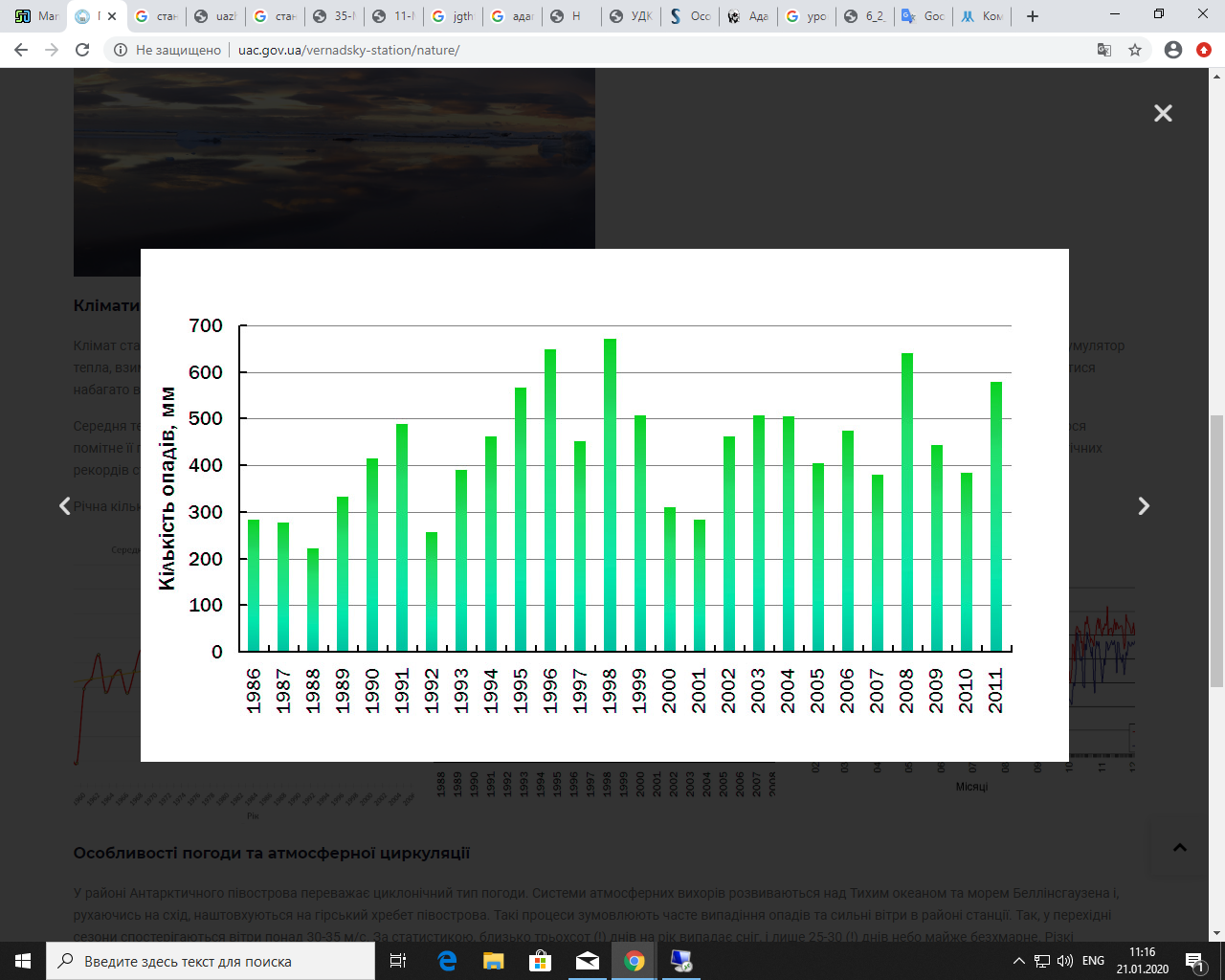


Рис. 4.4 Графік середніх щорічних опадів на станції Вернадського 1986 – 2011 рр.

## 4.2 Вплив кліматичних умов на стан організму полярників

Адаптація людини в Антарктиці відбувається в умовах комплексного впливу численних надзвичайних чинників (рис.4.5), які характеризуються добовою та сезонною варіабельністю, що потребує динамічних багаторівневих перебудов функціональних систем організму, особливо в напрямку компенсації вірогідного розвитку латентних форм гіпоксії. Моніторинг стану основних функціональних систем організму людини під час тривалої антарктичної експедиції засвідчив наявність певних особливостей адаптаційних зрушень протягом року[17].

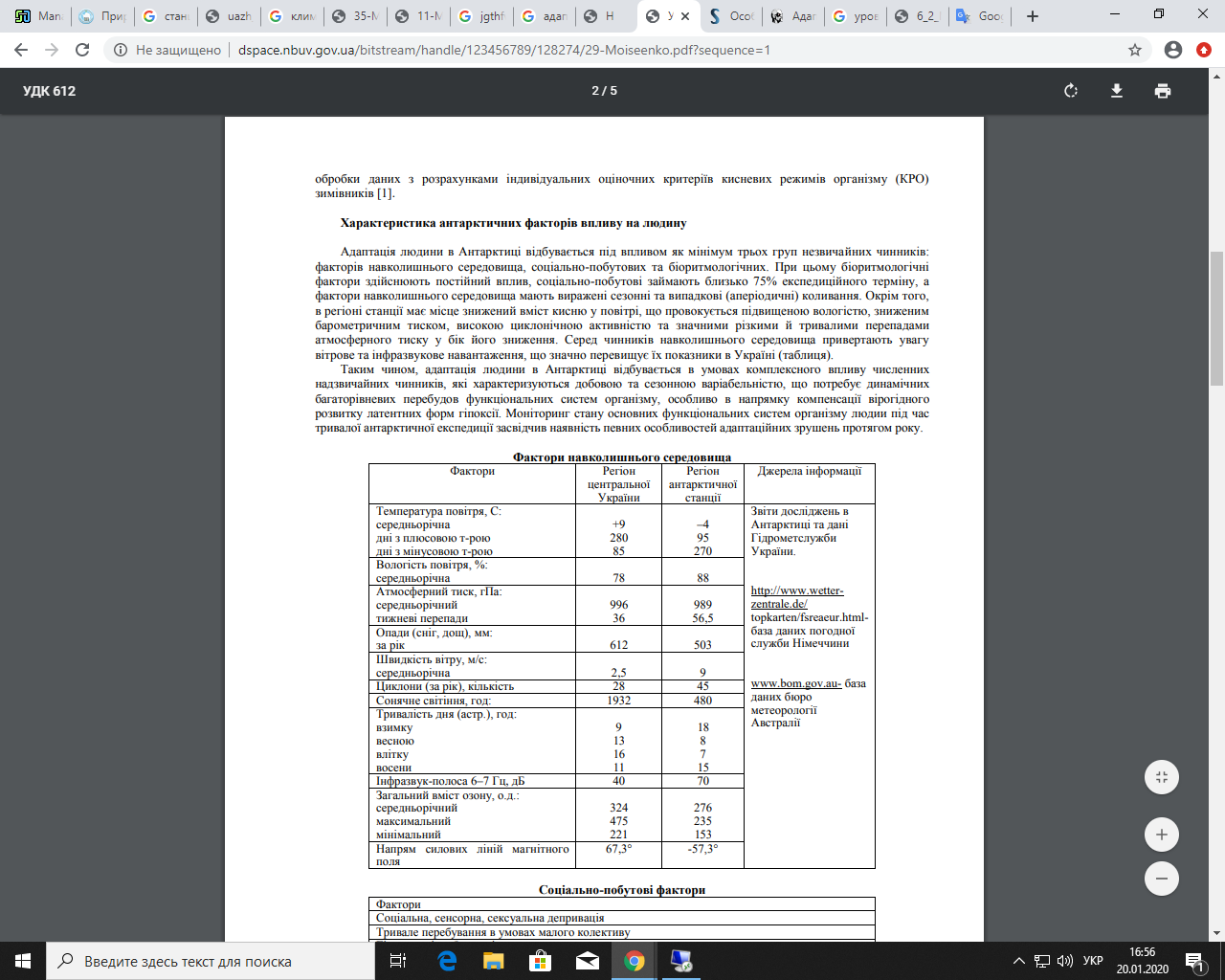


Рис. 4.5 Фактори впливу на організм в арктичних умовах

## 4.2.1 Динаміка показників дихання та кровообігу людини в Антарктиці

Адаптаційні перебудови зовнішнього дихання зимівників характеризувались деяким зниженням життєвої ємності легень упродовж першого півріччя та її відновленням до кінця експедиції у половини екіпажу. Проте після повернення з експедиції вентиляційні реакції на гіпоксію навантаження були підвищені за рахунок надлишкової активації легеневої функції, що провокувалось збільшеним падінням напруження кисню в артеріальній крові. Про що свідчать знижені перепускні якості бронхів малого калібру та відповідні зрушення у системі кровообігу як реакція на розвиток прихованої гіпоксії, що провокується чинниками екзогенного (гіпоксія, гіподинамія, стрес) та ендогенного походження.

При цьому кисневий гомеостаз у першу чергу підтримується за рахунок включення респіраторних і гемодинамічних механізмів регуляції кисневих режимів організму. Обстеження функціонального стану серцево-судинної системи членів експедиції при фізичному навантаженні в Антарктиці виявило особливості гемодинамічного забезпечення фізичного навантаження, які характеризувались зниженням частоти серцевих скорочень, серцевого викиду, систолічного артеріального тиску, зростанням діастолічного тиску, зменшенням рівня пульсового тиску, деяким падінням фракції вигнання крові при тенденції до зростання кінцевого систолічного об’єму, що свідчить про зниження скорочувальної функції міокарду.

В результаті при навантаженні серцевий викид зростає за рахунок частоти серцевих скорочень при відсутності динаміки фракції вигнання, що негативно позначається на ефективності серцевої діяльності [18].

Застосування технології біомагнітометрії при поглибленому кардіологічному обстеженні сприяло вивченню електрофізіологічних механізмів адаптаційних перебудов серцевої діяльності людини при тривалому перебуванні у надзвичайних умовах та дозволило розробити додаткові критерії оцінки резервів серцевої діяльності й прогнозувати його можливі порушення.

## 4.2.2 Динаміка показників периферійної крові та імунний статус зимівників

Наприкінці антарктичної зими кількість еритроцитів та вміст гемоглобіну в крові зимівників знижувались, а на завершальному етапі експедиції мали суттєве зростання. Проте після експедиції напруження кисню артеріальної крові було зменшеним (на 9% від контролю) навіть у стані спокою. Завдяки включення компенсаторних реакцій з боку зовнішнього дихання та кровообігу швидкість доставки кисню кров’ю до тканин не знижується, тканинна гіпоксія не розвивається, а швидкість споживання кисню навіть дещо збільшується, оскільки певна частка його витрачається на підсилення роботи вентиляції й кровотоку.

Отже, після експедиції у її учасників мають місце ознаки компенсованої респіраторної гіпоксії, розвиток якої може провокуватись наявністю оксидативного стресу внаслідок тривалого впливу надзвичайних чинників. У переважної більшості зимівників з ознаками підсилення вільно-радикальних процесів мають місце підвищені ступені гіпоксії навантаження, які характеризуються артеріальною і венозною гіпоксемією та розвитком метаболічного ацидозу.

Протягом року відбувались складні перебудови у клітинних гармоніях білої крові зимівників на фоні сезонного чергування лейкоцитозу та лейкопенії. Проте після повернення в Україну в обстежених не виявлено значних відмінностей у стані периферичної крові та реалізації клітинних захисних реакцій порівняно із вихідним станом. Спостерігалася динаміка у стані імунітету, яка характеризувалась частковим зниженням функціональної напруги ланцюга. При цьому кількість активних фагоцитів у крові обстежених збільшувалась у 2,1 рази, відновлювалась їх поглинаюча здатність, функціонально-метаболічні резерви нейтрофілів знижувались (8,5 1,15%), на 32,4% зменшувався вміст у сироватці крові імуноглобулінів (IgM).

Такі зрушення у поєднанні з результатами інших імунологічних досліджень свідчили про дефіцит екзогенних подразнюючих впливів біологічної природи на імунну систему зимівників [15].

## 4.2.3 Молекулярні механізми адаптації

Як відомо, генетичний фактор, індукований гіпоксією (hypoxia-inducible factor – HIF), є ключовим транскрипційним фактором, що забезпечує регуляцію експресії генів-мішеней при гіпоксичних станах. Під контролем HIF знаходиться експресія ряду генів, що контролюють синтез еритропоетину, фактора росту судинного ендотелію, ферментів гліколізу, церулоплазміну, нітрооксидсинтази тощо [19].

Всі перераховані білки забезпечують адаптацію організму не тільки до гіпоксії, а й до розмаїття екстремальних впливів. Нещодавно описано алельний поліморфізм киснезалежного домену HIF-1 , який полягає в заміні цитозину на тимин у 1772 положенні гена HIF-1 . Ця мутація призводить до заміни пролину на серин у білку HIF-1 . Патогенетичне значення цього поліморфізму досі не вивчене. У когорті зимівників переважна більшість мали нормальні гомозиготи (С/С-генотип) і 9 осіб – гетерозиготи за поліморфним алелем (С/Т-генотип). Порівняння показників кисневих режимів організму учасників експедиції з нормальними гомозиготами та з гетерозиготним генотипом (за поліморфізмом HIF-1 ) у спокої та при гіпоксії навантаження (75% від належного максимально споживання кисню) свідчило про їх наявні відмінності.. Встановлено, що організм зимівників з алельним поліморфізмом гену HIF-1 має властивість включення комплексу механізмів компенсації гіпоксії навантаження, який відрізняється від характерних реакцій у осіб з нормальним гомозиготним генотипом, що відбивається й на адаптаційних процесах у період антарктичної експедиції.

Поглиблене дослідження молекулярних механізмів запуску компенсаторних реакцій при модифікованих генетичних факторах відкриває перспективи вивчення нових механізмів адаптації організму людини у надзвичайних умовах. Окрім того встановлено, що після експедиції в організмі людини ознаки радіонуклідного забруднення практично зникають, значно знижуються рівні мікроелементного складу крові у діапазоні важких металів, що свідчить про певне екологічне очищення.

ВИСНОВКИ

Таким чином, було встановлено, що перебування на арктичному континенті має вплив на всі системи організму людини. В залежності від пору року на континенті відповідно змінюється клімат і це має вплив на органи дихання, серцево-судинну систему тощо.

Також було розглянуто, як впливає клімат на глибинному (клітинному) рівні, які це має наслідки після повернення з експедиції.

Було встановлено, що природні умови впливають не тільки на фізичний стан людини, але і на психологічний. Так, в умовах скороченого сонячного світіння (тривалість дня) збільшується втомлюваність та знижується витривалість.

# РОЗДІЛ 5

# ОХОРОНА ПРАЦІ

## 5.1 Ергономічні особливості роботи за комп'ютером

Лікар, що проводить спфірографічне дослідження для отримання показників дихальної системи, знаходиться в помірних кліматичних умовах. Медичний працівник проводить розрахунки на комп'ютері та має сидячий спосіб роботи. З урахуванням даного факту, були проаналізовані особливості роботи за ПК.

Перелік чинників, які мають вплив на організм людини при недотриманні встановлених норм:

* рівень іонізації повітря приміщень;
* режимів праці і відпочинку;
* електромагнітне опромінювання;
* параметри мікроклімату приміщень;
* освітлення;
* рівень шуму та вібрації;
* рівня неіонізуючих електромагнітних випромінювань;
* організації і обладнання робочого місця;
* електробезпека.

## 5.2 Детальний опис та розгляд впливу ергономічних чинників на лікаря

## 5.2.1 Вимоги до організації і обладнання робочого місця

Нормативна документація:

# ГОСТ 21889-76. Система "Человек-машина" [28];

# ГОСТ 12.2.032-78 [29];

* Державні санітарні правила і нормисДСанПіН 5.5.6.009 [30].

Обладнання і організація робочого місця мають забезпечувати відповідність конструкції всіх елементів робочого місця та їх взаємного, розташування ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності.

Конструкція робочого місця користувача ПК має забезпечувати підтримання оптимальної робочої пози:

* спина повинна бути рівна, але плечі розслаблені;
* ступні ніг - на підлозі або на підставці для ніг;
* стегна - в горизонтальній площині;
* передпліччя - вертикально;
* лікті - під кутом 70 - 90 град. до вертикальної площини;
* зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20 град. відносно горизонтальної площини;
* нахил голови – 150 – 200 відносно вертикальної площини.

Висота робочої поверхні робочого столу з ВДТ має регулюватися в межах 680...800 мм, а ширина і глибина - забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина 600...1400 мм, глибина - 800..1000 мм).

Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

Поверхня сидіння і спинки стільця має бути напівм'якою з нековзним, повітронепроникним покриттям, що легко очиститься і не електризується. Правильне сидіння полегшує працю м'язів. Тому найкращим є стілець, що дозволяє індивідуально підігнати всі параметри і цим забезпечити оптимальну робочу позу.

Робоче місце має бути обладнане підставкою для ніг завширшки не менше ніж 300 мм, завглибшки не менше ніж 400 мм, що регулюється за висотою в межах до 150 мм і за кутом нахилу опорної поверхні підставки до 20 град. Підставка повинна мати рифлену поверхню і бортик по передньому краю заввишки 10 мм. Застосування підставки для ніг тими, у кого ноги не дістають до підлоги, є обов'язковим.

Монітор та клавіатура мають розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків та символів.

Таблиця 5.1. Пропорції відстані від екрана до ока працівника

|  |  |
| --- | --- |
| При розмірі екрану по діагоналі | Відстань від екрана до ока працівника |
| 35/38 см (14"/15") | 600 - 700 мм |
| 43 см (17") | 700 - 800 мм |
| 48 см (19") | 800 - 900 мм |
| 53 см (21") | 900 - 1000 мм |

Розташування монітору має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом +30 град. від лінії погляду працюючого (це трохи нижче від центру екрану).

Площина екрану має бути повернута так, щоб від верхнього та нижнього краю до очей була приблизно однакова відстань. Монітор повинен знаходитися прямо попереду посередині столу. Абсолютно неприйнятно розташування монітора в кутку столу, коли користувач сидить до нього трохи боком. Екран монітора повинен бути абсолютно чистим. Періодично і при необхідності протирайте його спеціальними рідинами не використовуйте етиловий спирт.

Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 100...300 мм від краю, повернутого до працюючого. У конструкції клавіатури має передбачатися опорний пристрій (виготовлений із матеріалу з високим коефіцієнтом тертя, що перешкоджає мимовільному її зсуву), який дає змогу змінювати кут нахилу поверхні клавіатури у межах 5...150. Висота середнього рядка клавіш має не перевищувати 30 мм. Поверхня клавіатури має бути матовою з коефіцієнтом відбиття 0,4.

Миша, як і клавіатура, вибирається по зручності. Найкращу модель важко підібрати з першого разу, часто для цього треба попрацювати з різними конструкціями. Проте є і деякі загальні правила. Миша перш за все повинна відповідати розміру руки: не бути маленькою і дуже великий. У всіх сучасних мишах є колесо прокрутки (винахід Microsoft), воно дуже зручне в роботі, тому не купуйте миші без колеса. Намагайтеся використовувати оптичну мишу: це зручніше, необхідно менше зусиль для її переміщення, відпадає необхідність в регулярному чищенні, без якої миша з кулькою рухається ривками. Використання валика під зап'ястя виправдано, коли немає можливості забезпечити рівне положення руки. Інакше передпліччя перестає торкатися столу і підлокітника, виникає надмірне навантаження на зап'ястя і лікоть.

Для забезпечення захисту і досягнення нормованих рівнів комп'ютерних випромінювань необхідно застосування при екранних фільтрів, локальних світлофільтрів (засобів індивідуального захисту очей) та інших засобів захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат. Існують дані, що для сучасних моніторів такі фільтри не потрібні.

Внаслідок постійного не дотримання норм може погіршитись стан організму. А саме:

* Працюючий за комп'ютером людина тривалий час повинен зберігати

відносно нерухоме положення, що негативно позначається на хребті і циркуляції крові у всьому організмі (застій крові). При тривалих порушеннях циркуляції крові порушується живлення тканин і пошкоджуються стінки судин, що в свою чергу призводить до їх необоротного розширення. Таке розширення судин спостерігається, наприклад, при геморої.

* Читання інформації з монітора викликає перенапруження очей. Виникає

це головним чином тому, що під час читання з монітора відстань від тексту до очей постійно залишається одним і тим же, через це м'язи очей, що регулюють акомодацію, перебувають в постійній напрузі. Згодом це може призвести до порушення акмодатівной здатності очей і, отже, до порушень зору.

* Дисплейна хвороба, характеризується порушенням акомодації очей через

тривалу перенапругу війкового тіла. Синдром сухого ока - збірна назва захворювання викликаного порушенням зволоження передньої поверхні ока (рогівки) слізної рідиною. Також тривала робота за комп'ютером може збільшити ризик таких очних захворювань як міопія (короткозорість), далекозорість, глаукома.

* Тривала робота на клавіатурі призводить до перенапруження суглобів

кисті і м'язів передпліччя, що викликає розвиток тунельного синдрому зап'ястя.

* Гіподинамія, стрес, шкідливі звички і неправильне харчування є

основними причинами серцево-судинних захворювань і діабету. Таким чином, людина тривалий час працює за комп'ютером піддається реальному ризику серцево-судинних захворювань, різних захворювань очей, рухового апарату, органів шлунково-кишкового тракту, психічних розладів.

## 5.2.2 Вимоги до режимів праці і відпочинку

Нормативні документи:

* ДК-003-95[27];
* Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 року.

При організації праці, для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворювання і підтримки працездатності слід передбачити внутрішньо змінні регламентовані перерви для відпочинку та додаткові нетривалі перерви в періоди, що передують появі об'єктивних і суб'єктивних ознак втомлення і зниження працездатності.

При виконанні протягом дня робіт, що належать до різних видів трудової діяльності, за основну роботу з ПК слід вважати таку, що займає не менше 50% часу впродовж робочого часу мають передбачатися:

* перерви для відпочинку і вживання їжі (обідні перерви);
* перерви для відпочинку і особистих потреб (згідно з трудовими нормами);
* додаткові перерви, що вводяться для окремих професій з урахуванням особливостей трудової діяльності.

Тривалість обідньої перерви визначається чинним законодавством про працю і Правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства (Організації, установи).

У випадках, коли робочі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ПК не повинна перевищувати 4 години.

Активний відпочинок має полягати у виконанні комплексу гімнастичних вправ, спрямованих на зняття нервового напруження, м'язове розслаблення, відновлення функцій фізіологічних систем, що порушуються протягом трудового процесу, зняття втоми очей, поліпшення мозкового кровообігу і працездатності.

Внаслідок постійного не дотримання норм може погіршитись стан організму. А саме:

* Робота за комп'ютером передбачає переробку великого масиву інформації і постійну концентрацію уваги, тому при тривалій роботі за комп'ютером нерідко розвивається розумова втома і порушення уваги.
* Людина, що працює за комп'ютером, змушений весь час приймати рішення, від яких залежить ефективність його роботи. Тому, тривала робота за комп'ютером, часто є причиною хронічного стресу.
* Все частіше з'являються повідомлення про виникнення комп'ютерної залежності. Дійсно, тривала робота за комп'ютером, робота в Інтернеті і комп'ютерні ігри можуть викликати подібні психічні розлади.
* Робота за комп'ютером нерідко поглинає всю увагу працюючої людини і тому, такі люди часто нехтують нормальним харчуванням і працюють впроголодь весь день. Неправильне харчування призводить до зниження інтелектуальних здібностей людини.

## 5.3 Рекомендації щодо підтримки стану організму при роботі за комп'ютером

Відповідно до проаналізованих чинників та їх наслідків створена певна рекомендація. Вона складається з вказівок для комфортної роботи та коротких вправ.

1. Перед тим як приступити до роботи, приділіть трохи часу організації свого

робочого місця. Клавіатура і екран монітора повинні бути розташовані прямо перед вами. Якщо конструкція стільця дозволяє регулювати висоту сидіння, налаштуйте її таким чином, щоб в положенні сидячи ваші ноги міцно спиралися на підлогу або на спеціальну підставку, а поверхня, на якій розташовані клавіатура і миша, перебували на рівні ліктя або трохи нижче. Додайте клавіатуру і мишу таким чином, щоб при роботі з ними не виникало необхідності віддаляти лікті від тулуба. Екран монітора повинен розташовуватися на відстані витягнутої руки сидячого за столом користувача. Відрегулюйте висоту підставки монітора таким чином, щоб центр екрану знаходився трохи нижче рівня очей. При відсутності такої можливості бажано встановити монітор на спеціальну полицю або підставку.

1. Кожні дві години робити 15-ти хвилинну перерву. Зробити вправи для очей

та розім'яти м'язи ніг, рук, спини

1. Після кожного пацієнта провітрювати кімнату.
2. Робити вологе прибирання.
3. Забезпечити приміщення освітленням відповідно до його особливостей.
4. Дотримуватись правил пожежної безпеки.
5. При виявленні будь-якої несправності, викликати майстра.
6. Проходити щорічний загальний огляд.
7. Вживати достатню кількість води протягом дня.
8. Раз в місяць проводити дезінфекцію.

*Приклади вправ.*

Вправи для очей:

* Зажмурьте очі на ~ 10 секунд;
* Швидко моргайте протягом ~ 5-10 сек;
* Зробіть комплекс вправ (рис.1).

Вправи для рук:

* Струсніть руки;
* Стискайте пальці в кулаки (10 разів);
* Повертайте кулаки навколо своєї осі;

Вправи для спини:

Для розвитку м'язів спини існує безліч вправ, в основному це нахили в різні боки. Дуже корисне плавання і вправи на турніку. Намагайтеся частіше потягуйтеся і взагалі, робіть якомога більше рухів, навіть без потреби.

## 5.4 Пожежна безпека

При роботі з електричними приладами є неприпустимими[26]:

* наявність переплутаних кабелів при з’єднання частин ПК;
* експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
* застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПВЕ до переносних електропроводок;
* користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання.

Для підтримки пожежної безпеки в кабінеті, слід мати вогнегасник. Слідкувати за його строком придатності. Вчасно змінювати або пере заправляти.

Важливо звертати увагу на електричне обладнання - воно не повинно перегріватися. В разі перегріву слід завершити роботу на певний час, доки не спаде температура прибору. Або встановити відповідне до технічних характеристик приладу охолодження.

Таким чином, була встановлена залежність функціонального стану організму від облаштування робочого місця та форми роботи. Розроблена рекомендація, при дотриманні якої зменшується негативний вплив на організм та мінімізуються можливі наслідки. Також встановлена важливість дотримання правил та норм на всіх рівнях взаємодії з ПК та електричними приладами.

# ВИСНОВОК

В магістерській роботі було розглянуто актуальне питання системного підходу до процесу оцінювання стану організму. В якості об’єкту дослідження був обраний процес оцінювання однієї з підсистем організму, а саме дихальної системи.

Аналіз літературних джерел надав змогу визначити інформацію для оцінювання дихальної системи через інтегральний показник, але даний метод виявився громіздкім тому в роботів була запропонована математична модель оцінювання стану дихальної системи на основі індексу Скібінської, індексу гіпоксії, вентиляційного індексу та максимальної вентиляції легень. Дана модель дозволить зменшити тривалість розрахунку та вартість досліджень дихальної системи та стане основою для моделювання функціонального стану дихальної системи.

До останнього часу застосування багатопараметричних критеріїв було обмежено складністю обчислень. Однак широке поширення сучасних засобів обчислювальної техніки зняло ці обмеження. Серед безлічі багатопарметричних методів використання критерій Хотелінга дозволяє визначити хід біологічного процесу як поетапно, так і в цілому, виявити показник або поєднання показників, які суттєво впливають на статистичну керованість біологічного процесу.

На основі розробленої методики оцінювання були проведені розрахунки стану дихальної системи для пацієнтів з різними біологічними показниками. Завдяки даним розрахункам було встановлено критичне та розраховане значення Т-критерію Хотелінга отриманого в результаті моделювання.

Розроблена математична модель запропонована в програмному середовищі табличному редакторі Excel з пакету офісних програм Microsoft Office, що надало змогу автоматизувати процес розрахунку та може бути використана спеціалістами в професійній практиці. Використання даного підходу виявилось більш чутливим для оцінювання функціонального стану дихальної системи, що надає змогу активно використовувати його при відбору та реабілітації антарктичних зимівників.

Таким чином, була встановлена залежність функціонального стану організму від облаштування робочого місця та форми роботи. Розроблена рекомендація, при дотриманні якої зменшується негативний вплив на організм та мінімізуються можливі наслідки. Також встановлена важливість дотримання правил та норм на всіх рівнях взаємодії з ПК та електричними приладами.

В ході роботи було встановлено, що перебування на антарктичному континенті має вплив на всі системи організму людини. В залежності від пору року на континенті відповідно змінюється клімат і це має вплив на органи дихання, серцево-судинну систему тощо.

Також було розглянуто, як впливає клімат на глибинному (клітинному) рівні, які це має наслідки після повернення з експедиції.

Було виявлено як природні умови впливають не тільки на фізичний стан людини, але і на психологічний. Так, в умовах скороченого сонячного світіння (тривалість дня) збільшується втомлюваність та знижується витривалість.

# СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авиационная медицина в цифрах и формулах / Г.Л. Комендантов [и др.]. – М. : ЦОЛИУВ, 1980. – 38 с.
2. Баєвський Р.М. концепція фізіологічної норми та критеріїв здоров’я /Р.М. Баєвський//Рос.физиол. журнал им. И.М. Сеченова. – 2003. – Т.89, №4. – С. 473-487.
3. Беликов В.Г., Пономарев В.Д., Коковкин-Щербак Н.И. Применение математического планирования и обработка результатов эксперимента в фармации. – М.: Медицина, 1973. – 232 с
4. Біліч Г.Л., Сапін М.Р. Анатомія людини. У двох книгах. Серія «Природничі науки». - М.: ПРІОР, 2005. - 229 с., Илл.
5. Глава 12. Розрахунок належних величин деяких параметрів кардіо та гемодинаміки людини [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://bono-esse.ru/blizzard/A/Fiziologija/parametri_cor_gemodinamiki.html>.
6. Заклади охорони здоров’я та захворюваність населення України у 2012 році. Статистичний бюлетень м. Київ 2013.Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
7. Злобін Ю.А. Основи екології.- К.: Лібра, 1998. – 249.
8. Інформаційні технології в біології та медицині. Курс лекцій [Текст] : навч. посіб. / В. І. Гриценко, А. Б. Котова, М. І. Вовк [та ін.]. – К.: Наук. думка, 2007. - 382 с
9. Капцов В.А. Праця і здоров'я медичних працівників як проблема медицини праці / Медична допомога .- 2000 .- № 2.
10. Колчинская А.З., Циганова Т.Н., Остапенко Л.А. Нормобарическая интервальная гипоксигеская тренировка в медицине и спорте.– М.: Медицина, 2003. – 408 с.
11. Людина. / Навч. посібник з анатомії та фізіології. — Львів. 2002. — 240 с.
12. Маліков М.В., Сватьєв А.В., Богдановська Н.В. Функціональна діагностика у фізичному вихованні і спорті: Навчальний посібник / М.В. Маліков, А.В. Сваитьєв, Н.В. Богдановська. – Запоріжжя : ЗДУ, 2006. – 227с.
13. Маньковська І.М., Моісеєнко Є.В., Демченко М.П., Досенко В.Є., Зубкова С.Т., Варгатий С.Я., Музиченко Т.І.. Особливості перебудов функціональної системи дихання людини після тривалого перебування в умовах. Антарктики. Фізіологічний журнал. – 2005.– 53. №3.– С.25–31.
14. Медична інформатика: навчальний посібник / Сілкова О.В., Лобач Н.В. ; ВДНЗУ «УМСА». – Полтава : ТОВ «АСМІ», 2014. – 317с.
15. Моісеєнко Є.В. Вимоги до стану здоров’я та медичного обстеження фахівців експедиційної діяльності Української національної антарктичної програми. Методичні рекомендації. – Київ, 2005. – 35 с.
16. Моісеєнко Є.В. Медико-біологічні дослідження вчених України в Антарктиці. Фізіологічний журнал, т.49, №3, 2003, с.70–74.
17. Молчанов А.М. Предисловие редактора. В кн.: «Математическое моделирование биологических процессов». М.: «Наука», 1979
18. Мышкис А. Д. *Элементы теории математических моделей.* — 3-е изд., испр. — М.: КомКнига, 2007. — 192 с
19. Об инфраструктуре информационной поддержки клинической медицины / А.В. Гаврилов, Г.В. Шевченко, В.А. Лищук, А.И. Данилевич // Медицинская техника, 2003. – № 3. – С. 36- 42.
20. Основні показники ринку праці. Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/
21. Патент. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://uapatents.com/8-81214-sposib-viznachennya-rivnya-funkcionalnogo-stanu-dikhalno-sistemi-organizmu.html>.
22. Психофизиология. Учебник для вузов //Под ред. Ю.И.Александрова. 3-е изд.,доп. и перераб. – СПб.:Питер. 2004. – 464 с.
23. Савушкина О.И, Черняк А.В., Науменко Г.В., Неклюдова Г.В. Комплексное исследование функции внешнего дыхания: Учебное пособие для врачей. М.: ГВКГ им. Н.Н. Бурденко, 2016. - 109 с
24. Тиманюк В.О., Кокодий М.Г., Пенкин Ю.М., Рыжов А.А., Жук В.А. «Компьютерное моделирование в курсах физики и биофизики». – Вид-во Запорізького державного медичного університету, 2011. – 520 с.
25. Формули та алгоритми, які застосовуються для визначення показників гемодинаміки [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://gemodinamika.ru/formuli-i-algoritmi-rascheta-pokazatelej-gemodinamiki.html>
26. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12>
27. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
28. <http://docs.cntd.ru/document/1200012832>
29. <http://vsegost.com/Catalog/31/31970.shtml>
30. <https://www.pedrada.com.ua/article/1387-finita-dsanpn-shchodo-kompyuterno-tehnki-v-zakladah-osvti>

# ДОДАТКИ

# Додаток А

Послідовність етапів побудови математичної моделі

Пошук рішення

Дослідження об’єкта моделювання і формування технічного завдання для розробки моделі

Концептуальна та математична модель постановки задачі

Якісний аналіз та перевірка коректності моделі

Вибір та обґрунтування методів розв’ язання задачі

Розроблення алгоритму рішення і дослідження його особливостей, реалізація алгоритму у вигляді комп’ютерної програми

Перевірка адекватності моделі

Практичне використання побудованої моделі

# Додаток Б

Процес прийняття рішень

Предметна область

Перевірка адекватності моделі

Виконання рішення

Стадія концепції

Цілі

Процедури пошуку

Ідентифікація задачі

Класифікація і декомпозиція задачі

Постановка задачі

Стадія проектування

Формуваннямоделі

Критерії для вибору

Пошук альтернатив

Передбачувані результати

Стадія вибору

Отримання рішення для моделі

Аналіз чутливості

Вибір оптимальної альтернативи

План виконання рішення