

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

S.I. Lukash, L.P. Vakal

DEVELOPMENT OF THE MEASUREMENT TECHNIQUE OF MARKER GASES IN A BREATH AIR

An algorithm and features of a technique for analysis of exhaled air on presence of marker gases are considered and ways for a hardware solution of the problem are discussed.

Key words: biomarkers, exhaled air, sensors.

Рассмотрены алгоритм и особенности методики анализа выдыхаемого человеком воздуха на наличие маркерных газов и обсуждаются пути аппаратного решения проблемы.

Ключевые слова: маркерные газы, диагностика, датчики.

Розглянуто алгоритм та деталі методики аналізу повітря, що видихає людина, на вміст маркерних газів та обговорюються шляхи апаратного вирішення проблеми.

Ключові слова: маркерні гази, діагностика, датчики

© С.І. Лукаш, Л.П. Вакал, 2012

УДК 681.3; 591.3

С.І. ЛУКАШ, Л.П. ВАКАЛ

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИМІРІВ МАРКЕРНИХ ГАЗІВ У ПОВІТРІ ДИХАННЯ

Вступ. Для оперативного контролю стану здоров'я та працездатності організму людини за складом повітря, що вона видихає, зокрема, в процесі тренування спортсменів, достатньо здійснювати контроль концентрації таких маркерних газів як CO_2 , O_2 і CO .

Більш інформативним є одночасні виміри й інших характеристик організму людини, таких як частота дихання (ЧД), частота серцевих скорочень (ЧСС), вологість H та температура T повітря, що видихається, і комплексна, інтегральна їх оцінка.

В роботах [1, 2] розглянуто методи аналізу повітря видиху на наявність маркерних газів і обговорюються шляхи апаратного вирішення проблеми.

Загальну фізичну працездатність людини можна представити як інтегральний показник сукупності характеристик, які зумовлені станом організму і в першу чергу продуктивністю апарата кровообігу і дихання, об'ємом і складом циркулюючої крові, можливостями цих систем організму забезпечувати працюючі органи і тканини киснем.

Сучасні прилади дозволяють вивчати поглинання кисню й виділення вуглекислоти не тільки в спокої, але й при фізичному навантаженні, що дає додаткову інформацію про функції легенів. Вентиляція і легеневий кровообіг, перенос кисню і вуглекислого газу, дифузійна здатність при навантаженні можуть зростати в декілька разів. Для регульованого навантаження використовують тредмілл, велоергометр, степ-тест та ін.

Зміни концентрації O_2 і CO_2 у повітрі дихання при певних умовах і навантаженнях на організм можуть досягати декількох відсотків. У спортсменів фізична напруга супроводжується підвищенням температури, частоти дихання, частоти серцевих скорочень і вимагає додаткового споживання кисню, при цьому концентрація вуглекислого газу у видиху зростає від 0,3 до 6,5 %.

Саме моніторинг концентрації CO_2 , O_2 і CO , визначення об'ємів цих газів, виділених при видиху, їх співвідношення, виконується в розробленому портативному інтелектуальному приладі на основі мікропроцесорної техніки з використанням електрохімічних та інших сенсорів.

Методологічні основи та моделі. Основні функції приладу:

- вимірювання компонентів повітря дихання у стані спокою та під час фізичних навантажень;
- визначення в динамічному режимі концентрації кисню у повітрі в межах $10\% \div 25\%$ і моно- та диоксиду вуглецю у межах $0,3 \div 10\%$ та інших параметрів у реальному часі;
- збереження даних у внутрішній пам'яті переносного блоку приладу;
- передавання даних на запит на значні відстані по радіоканалу;
- обробка результатів вимірів із застосуванням математичного моделювання та інтелектуальних технологій.

Процес дихання та концентрація газів відображаються на переносному блоці приладу як у вигляді відповідних числових показників, так і у вигляді графіків на дисплеї блоку або на моніторі віддаленого комп'ютера. Графіки можна виводити також на паперову стрічку автономного портативного термопринтера, який підключається до переносного блоку. Програмне забезпечення аналізує комплекс даних та у відповідності до застосованої математичної моделі формує висновок про результат вимірювань фізичного стану спортсмена.

Загальний алгоритм роботи аналізатора складається з алгоритмів роботи різних блоків (рис. 1).

Алгоритм роботи блоку мультисенсорів включає:

- встановлення технічних характеристик сенсорів (початкового опору при кімнатній температурі, оптимальної напруги живлення, оптимальної чутливості до групи газів, що аналізуються);
- вибір діапазону температур нагрівання прошарків для отримання найбільш ймовірних ознак;
- визначення кількості вимірів інформаційного сигналу за час зміни температури прошарку на дискретний крок.

Алгоритм роботи контролера містить:

- ідентифікацію інтерфейсу;
- перевірку стану готовності портів та каналів;
- підготовку внутрішньої бази даних;
- підготовку допоміжних блоків до роботи;
- формування командних сигналів для роботи інтерфейсу в обраному режимі (ручному або автоматичному);
- зчитування та занесення до блоку пам'яті даних;

- організацію обміну інформацією з комп'ютером.

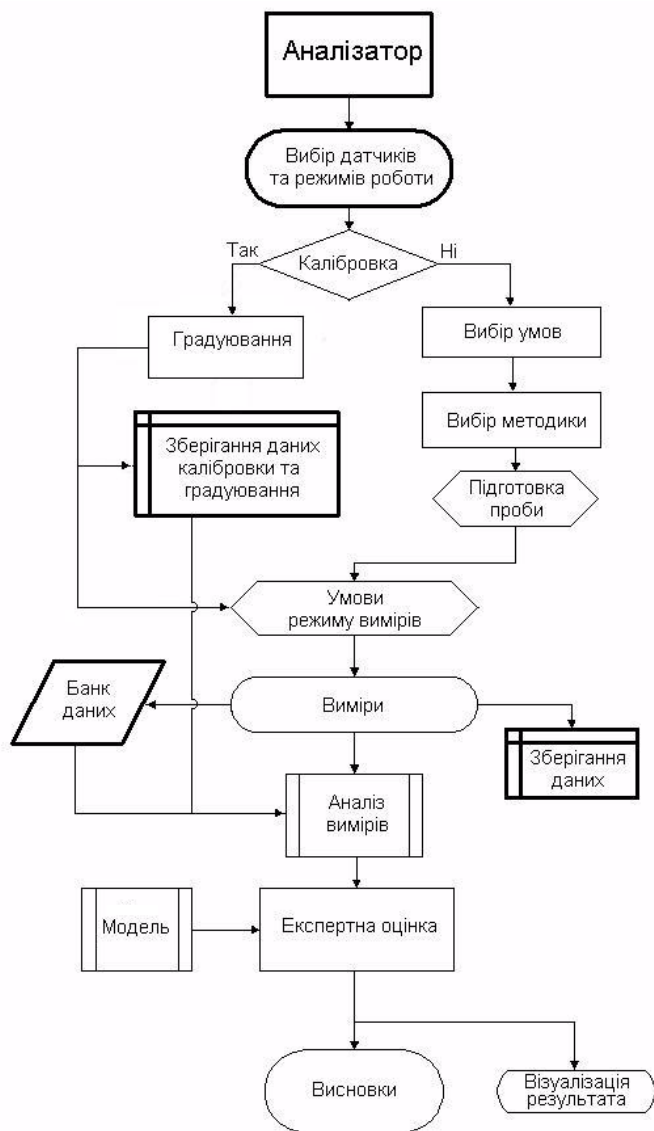


РИС. 1. Загальний алгоритм роботи газоаналізатора

Програмне забезпечення містить такі основні компоненти:

- модуль керування роботою апаратних засобів і блоків;
- модуль попередньої обробки даних;
- модуль обробки даних відповідно до закладеної математичної моделі;
- модуль експертної системи та формування рішень.

Перший модуль разом із підпрограмами автоматизованого керування дозволяє оператору в інтерактивному режимі визначати умови роботи, робочі параметри режиму, шляхи збереження даних.

Застосування методики підготовки проби повітря видиху шляхом збору повітря в мішок Дугласа [3] з подальшим проходженням цього повітря через блок датчиків дає змогу врахувати часові параметри сенсорів.

На рис. 2 показано одне із вікон програмного інтерфейсу. Програма дає змогу оператору працювати не тільки з раніш отриманими текстовими файлами даних, але й у режимі реального часу. Для цього достатньо приєднати мішок Ду-

гласа з пробою повітря до пневматичного входу аналізатора і натиснути кнопку «Прилад». При цьому запускається підпрограма керування роботою вимірювальної частини приладу і відкривається нове вікно, в якому представлено зміну вихідних сигналів датчиків у часі та числові значення виміряних температури і вологості в камері датчиків. Знання реальної температури і вологості дає змогу привести дані до стандартних умов. Усереднення значення сигналів відбувається за час аналізу. Кількість необхідних даних для інтегральної оцінки вибирається оператором за допомогою програмного забезпечення.

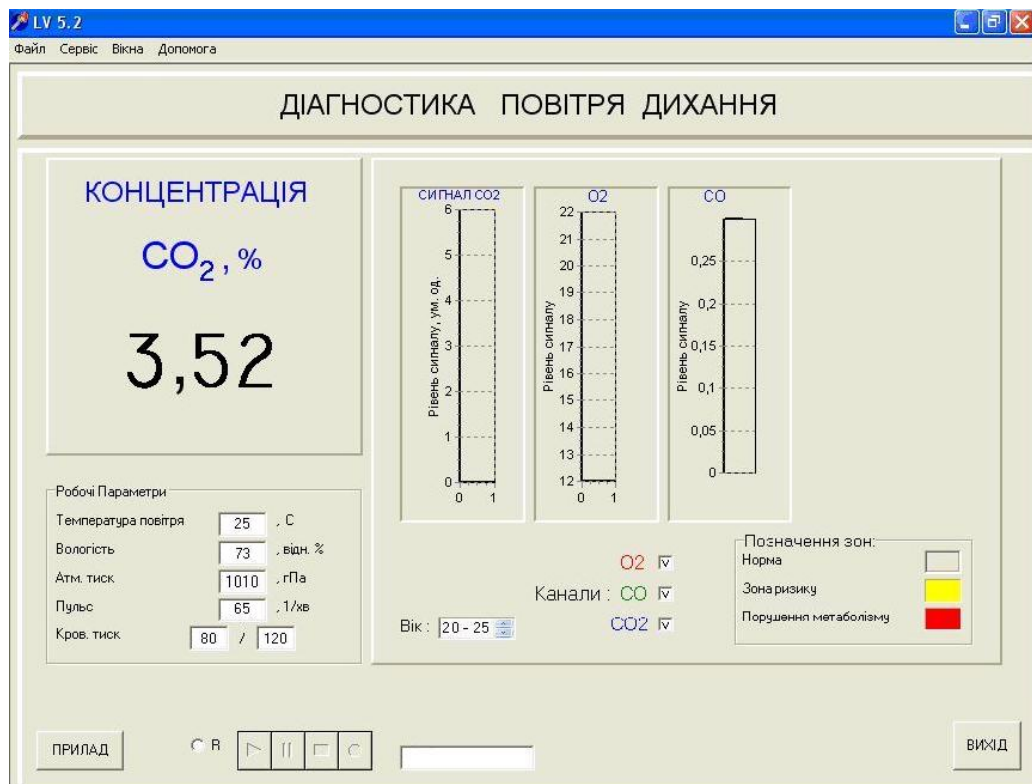


РИС. 2. Загальний вигляд основного вікна програмного інтерфейсу

В математичній моделі інтегральної оцінки працездатності людини враховуються такі показники, як концентрація маркерних газів, температура та вологість повітря, що видихається в камері датчиків, а також виміряні окремо частота серцевих скорочень, кров'яний тиск, вік та стать. Модель базується на закономірностях, встановлених при вивченні впливу названих показників на стан організму.

Працездатність людини, і зокрема спортсмена, залежить в основному від того, яка кількість кисню перейшла із зовнішнього повітря у кров легневих капілярів і була транспортована в тканини й клітини організму. Встановлено, що

існує кореляція між вмістом кисню та вуглекислого газу в альвеолярному повітрі легенів і вмістом цих газів у крові. Наприклад, за даними роботи [4] максимальне споживання кисню людьми, що ведуть активний спосіб життя, в залежності від віку можна апроксимувати лінійною залежністю (див. рис. 3, а).

Критерій визначення величини фактора, вихід за межі якого дозволяє розглядати його як екстремальний, встановлюється дослідником виходячи із помічених змін функціонального стану людини і з урахуванням особливостей його діяльності. Так, вміст кисню у повітрі вдиху 16 %, який прийнятний для людини в стані спокою, є екстремальним при інтенсивній фізичній праці. Також, якщо нормувати вміст CO у повітрі видиху за критерієм зміни частоти серцевих скорочень, то за норму приймається не та величина, при якій у певної людини почалася зміна пульсу, а величина, при якій у 95 % людей ще зберігається висхідне значення величини пульсу.

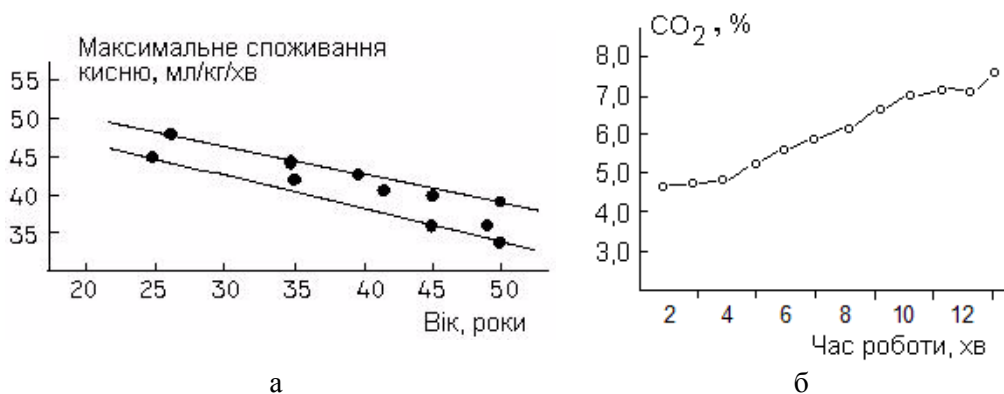


РИС. 3. Максимальне споживання O₂ людьми з активним способом життя в залежності від віку (а) та вміст CO₂ у видиху при фізичній праці (б)

Динаміка процентного вмісту вуглекислого газу у повітрі видиху в групі з 5-ти спортсменів віком (19 – 22) років, вагою ($69 \pm 3,6$) кг показана на рис. 3, б [5].

Вуглекислий газ, що надходить в організм через дихальні шляхи і шкіру, змінює стан хеморецепторів аорти й каротидного синуса, стан мозкових структур, відповідальних за регуляцію кровообігу й подиху: знижується симпатична й підсилюється парасимпатична дія на тонус судин і ритм серцевої діяльності, частоту і глибину подиху [6].

Дослідження гемодинаміки протягом години після вуглекислої ванни у хворих інфарктом міокарда в II фазі реабілітації показали фазність змін основних її параметрів (рис. 4). Безпосередньо після ванни зменшується частота серцевих скорочень.

У роботі [7] з посиланням на роботу G. Borg та його колег наводяться дані по дослідженню реакції організму людини на виконання тесту на велоергометрі. Потужність приладу змінювали кроками: 40 – 70 – 100 – 150 – 200 Вт. Темп –

60 обертів/хв. Випробуваними були практично здорові чоловіки: кількість – 8, вік – (26 ± 1) років, довжина тіла – (178 ± 4) см, вага – $(72,0 \pm 7,0)$ кг. На рис. 5 показані результати дослідження.

На роботу серця впливає також температура. Підвищення температури тіла, наприклад, при захворюванні або навантаженнях, приводить до значного збільшення частоти серцевих скорочень, а зниження температури зменшує ЧСС (при цьому зниження до $15 - 20^\circ \text{C}$ призводить до зупинки серця і смерті людини). Оптимальна функція серця в значній мірі залежить від регуляції сталості температури тіла нервовими центрами. У людей, які займаються спортом, серце в стані напруги може працювати з частотою понад 200 скорочень на хвилину. Через судини проходить у цей час крові в 4 – 5 разів більше, ніж у стані спокою [8, 9].

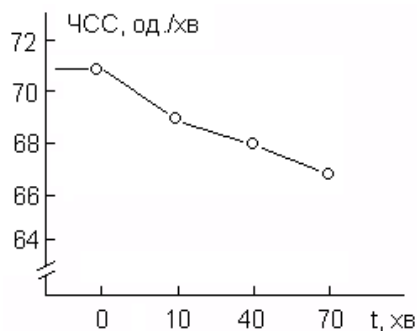


РИС. 4. Зміна ЧСС у часі під впливом дії вуглекислої ванни

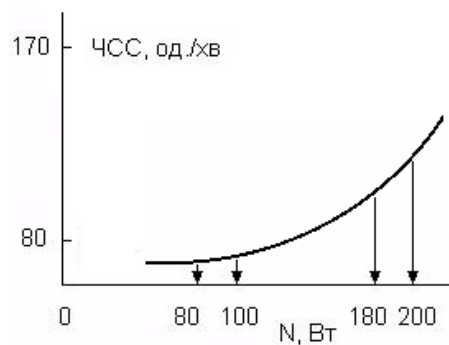


РИС. 5. Зв'язок між ЧСС та потужністю навантаження

Для інтегральної оцінки стану пацієнта необхідно зіставляти отримані абсолютні значення показників з їх відповідними значеннями для здорової людини того ж віку, зросту, ваги і статі. Таке співставлення виконується у відсотках від показника норми. Значення, які відхиляються від норми більше, ніж на 15 – 20 %, вважаються патологічними.

На етапі аналізу вимірів виконується також порівняння отриманих експериментальних даних з даними накопичених знань. Увесь комплекс цих проблем вирішується з більшим або меншим ступенем прийнятності при введенні деяких припущень і обмежень у математичну модель обробки даних.

Використання наведених у науковій літературі закономірностей дає можливість апроксимувати експериментальні дані відповідними математичними виразами та застосувати їх у моделі інтегральної оцінки стану організму людини.

Апаратура та методика вимірів. Повітряна газова суміш (ПГС) (газ CO_2 + стандартне повітря) приготовлена в балоні за ДСТ 949-73 ПГС відповідно до ТУ підприємства-виготовлювача ПГС і вміщувала 4,9 % CO_2 + 95,1 % стандартного повітря. Погрішність приготування ПГС становила 20 %.

Газовий редуктор забезпечував зниження тиску до 100 – 110 кПа, для регульованої подачі ПГС використали голчастий вентиль тонкого регулювання. Контроль потоку газу здійснювали по ротаметру. Проба газу заповнювала мішок Дугласа об'ємом V . Ця проба по системі повітропроводу надходила в камеру з датчиками. Перетин повітропроводу – 4 мм^2 , довжина не перевищувала 20 см.

Результати вимірів. При дискретній подачі газу, що відповідає умовам прямого виміру дихання, значення концентрації можна отримати як середнє значення максимального сигналу датчика за час, що забезпечує достатню точність.

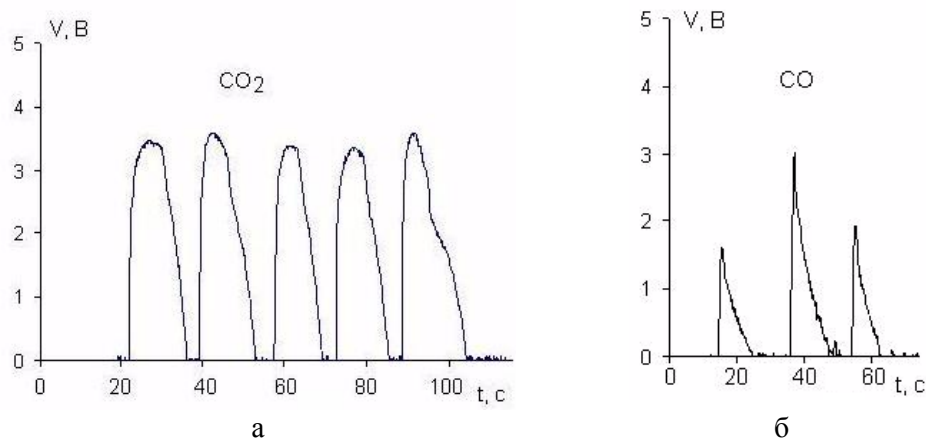


РИС. 6. Вид сигналів датчика для газу CO_2 (а) та CO (б)

В експериментах використано дві повітряні газові суміші: CO_2 + повітря і CO + повітря. На рис. 6 показано типовий відгук у часі електрохімічного датчика при дискретній подачі газу за допомогою програмованого електромеханічного пневматичного вентиля для газу CO_2 (а) та CO (б).

Відгук датчика для газу CO має інший вигляд (рис. 6, б): швидкі реакція і спадання сигналу протягом 2 с при дискретній подачі газу.

Досліджуваний датчик мав високу чутливість і малий час відгуку.

На рис. 7 показано типовий відгук у часі електрохімічного датчика для газу CO_2 при безперервній подачі його з мішка Дугласа (а).

Час реакції системи на раптову зміну концентрації газу (response time) складається із двох складових:

- час доставки газової суміші з об'єму проби у вимірювальну камеру (delay time). Час доставки залежить від швидкості подачі газу, а також від довжини магістралі. Він зменшується при скороченні пневматичної магістралі;

- швидкість виміру (rise time) визначається як період від моменту надходження порції газу в камеру датчиків до моменту підйому сигналу до рівня 90 % реальної величини.

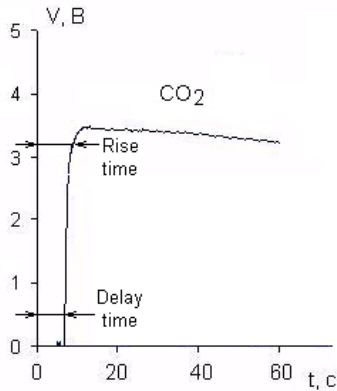


РИС. 7. Реакція датчика на газ CO₂

Часові параметри застосованого обладнання можна оцінити за даними експерименту і оптимізувати їх для серійних приладів.

Так, для вказаних розмірів пневматичного обладнання час реакції складає не більше 10 с, а швидкість вимірів для обраних датчиків – не більше 20 с.

Оптимізація цих параметрів можлива за умови зменшення довжини повітропроводів та чутливості й швидкодії застосованих датчиків. Сучасні електрохімічні сенсори, що існують у продажі, відповідають цим вимогам.

Висновки. Забезпечення органів дихання повітрям, що збагачене киснем, сприяє підвищенню працездатності. Таким чином, контроль за процентною різницею компонентів складу повітря, що вдихає і видихає людина, дає змогу оцінювати її працездатність або стан.

Розробка апаратури і методики для віддаленого контролю стану здоров'я людини на основі мікропроцесорної техніки сприяє підвищенню ефективності діагностики і є актуальним напрямком у медицині. Аналіз повітря дихання пацієнта відноситься до неінвазивних методів діагностики, що й викликає підвищений інтерес.

1. Ястребов Ю.В. Способ определения физической работоспособности человека. Патент РФ № 2 377 952 (БИ № 1 от 10.01.2010).
2. Лукаш С.І. Разработка методики измерения CO₂ в выдыхаемом воздухе // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2011. – № 10. – С. 119 – 125.
3. Мішок Дугласа. <http://cosmo.od.ua/?nid=9465>.
4. Браун С., Грэхем Д. Практическое руководство для начинающего марафонца. <http://lot-marafon.narod.ru/stati/040041.htm>.
5. Биомеханические предпосылки тренировки дыхательной системы спортсменов. http://www.sporttec.ru/articles/biomexanic_predposylk_trenirov/.
6. Сорокина Е.И. Физические методы лечения в кардиологии. – М.: Медицина, 1989. http://lekmed.ru/info/arhi_vy/balneogidroterapiya-v-lechenii-bolezney-serdechno-sosudistoy-sistemy-2.html.
7. Орел В.Р., Селуянов В.Н. Реакция сердечно-сосудистой системы на локальную и глобальную мышечную работу. <http://sport.mipt.ru/science/physiology/work-28>
8. Влияние температуры тела на сердце. <http://meduniver.com/Medical/Physiology/546.html>.
9. Сердечно-сосудистая система. <http://health.mail.ru/content/patient/24/>.

Одержано 06.09.2012