

ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАМИ

© Рубан М. Л., Лесніков А. Г., Осадчий О. В., 2015

Висвітлено методику визначення функціонального стану людини, описано діагностичний комплекс та методику проведення процедури.

Ключові слова: функціональний стан, фотоплетизмограф.

Methodology of determination of the functional state of man is reflected in this article, a diagnostic complex and methodology of realization of procedure are described.

Key words: functional state, fotopletizmograf.

Вступ. Загальна постановка проблеми

Сьогодні на ринку медичного обладнання в Україні багато новітніх розробок пульсоксиметрів як закордонного, так і вітчизняного виробництва. Деякі прилади мають суттєвий недолік, а саме обмежені функціональні можливості програмного забезпечення, що поставляються в комплекті з пульсоксиметрами. Є можливість запису в базу даних тільки значення оксигенації крові та частоти серцевих скорочень, а параметри кривих фотоплетизмограми (ФПГ) не вивчаються, проте вони є доволі інформативними.

Розроблення програмного забезпечення з розширеними можливостями є актуальним завданням та дасть змогу розширити функціональні можливості приладу, тобто обробляти параметри ФПГ у режимі реального часу. Це надасть змогу швидко та без використання зайвої апаратури визначати функціональний стан організму людини.

Метою роботи є розроблення алгоритмів і програмного забезпечення, яке дасть змогу ефективно обробляти і реєструвати різні параметри ФПГ людини.

Для досягнення поставленої мети розв'язано такі задачі:

1. Вибір необхідних параметрів для дослідження фотоплетизмограми.
2. Обґрунтування вимог до програмного комплексу реєстрації та обробки даних фотоплетизмограми людини.
3. Розроблення методики опрацювання результатів параметрів фотоплетизмограми створенням алгоритму, який забезпечить точніші результати вимірювання та їх ефективну обробку.
4. Створення програми на основі розробленого алгоритму для реєстрації та обробки фотоплетизмограм.
5. Апробування розробленого програмного комплексу [1].

Комплекс для проведення експериментів. Структура програмно-апаратних комплексів, що призначені для дослідження серцево-судинної системи людини

Програмно-апаратні комплекси, в яких використовується метод фотоплетизмографії, мають схожі структурні схеми (рис. 1) [2].

1. Блок випромінювача складається з декількох блоків: генератор прямокутних імпульсів, калібратор і випромінювач. Цей блок призначений для вироблення сигналу, який живить джерело випромінювання, і опромінення досліджуваної тканини, а також формування калібрувального сигналу, за яким визначається величина одиниці виміру сигналу фотоплетизмографії.

2. Блок фотоприймача також складається з декількох послідовно з'єднаних міні-блоків: фотоприймач, підсилювач, демодулятор, фільтр нижніх частот. Цей блок призначений для перетворення, посилення і фільтрації світлового потоку, що пройшов крізь досліджувану тканину або відбився від неї, модульованого за амплітудою пульсаціями кровотоку.

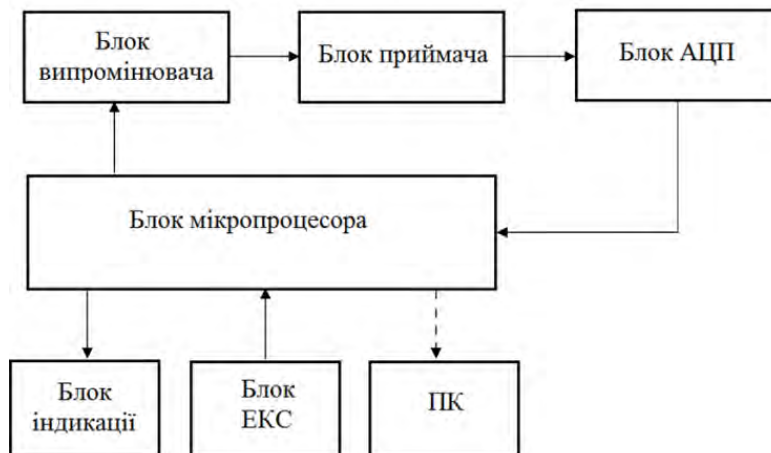


Рис. 1. Структурна схема автоматизованого фотоплетизмографа

4. Блок ЕКС використовується як додатковий блок і призначений для отримання електрокардіосигналу (ЕКС), за яким формується калібрувальний сигнал у блоці випромінювача.

5. Блок мікропроцесора призначений для обробки отриманого сигналу з блоку фотоприймача та управління блоком випромінювача, а також виведення результатів обробки сигналу на блок індикації та обміну інформацією з іншими мікропроцесорами або ЕОМ. Він також організовує команду для формування калібрувального імпульсу в блоці випромінювача;

6. Блок індикації виводить результати вимірювання або результат помилки, які отримано з блоку мікропроцесора.

7. ПК – персональний комп'ютер. Містить спеціалізоване програмне забезпечення, що дає змогу відображати на екрані монітора пульсові криві, а також зберігати їх у вигляді графічних зображень в пам'яті комп'ютера. Зазначені блоки становлять основу автоматизованих фотоплетизмографів. Разом з тим для ефективної роботи з великою кількістю біооб'єктів до складу системи необхідно ввести додаткові блоки.

Всі програмно-апаратні комплекси мають подібну структуру, можливі незначні відмінності, які на принцип роботи комплексів не впливають, і немає сенсу апаратно вдосконалювати прилади, тому було запропоновано вдосконалити програмне забезпечення, а саме розширити його функціональні можливості, що збільшить діагностичний потенціал вже існуючих приладів без зайвих витрат на їх апаратне вдосконалення.

Досліди проводили на базі пульсоксиметра “ЮТАСОКСИ-200”, нижче наведено опис функцій стандартного програмного забезпечення (ПЗ).

Стандартне ПЗ (рис.2), що йде у комплекті з ПМ “ЮТАСОКСИ-200”, виробника UTAS (Україна), дає змогу:

- реєструвати нових пацієнтів, переглядати та редагувати їх картки;
- вносити зміни до налаштувань параметрів комунікаційного порту, задавати шлях до бази даних та інтервал вимірювань (від 1с до 60 с);
- проводити запис та графічне відображення плетизмограми (ПЛЕ), оксигенації (SpO_2) і частоти серцевих скорочень (ЧСС) (без масштабування) та виводити числові значення поточної SpO_2 і ЧСС, а також зберігати записані дані в базу (окремо ПЛЕ та SpO_2 з ЧСС);
- завантажувати збережені в базі ПЛЕ, або SpO_2 і ЧСС, графічно відображати їх (без можливості змінити масштаб відображення) та експортувати SpO_2 і ЧСС дані у вигляді таблиці в текстовому файлі;
- використовувати російсько- та англійський інтерфейси.

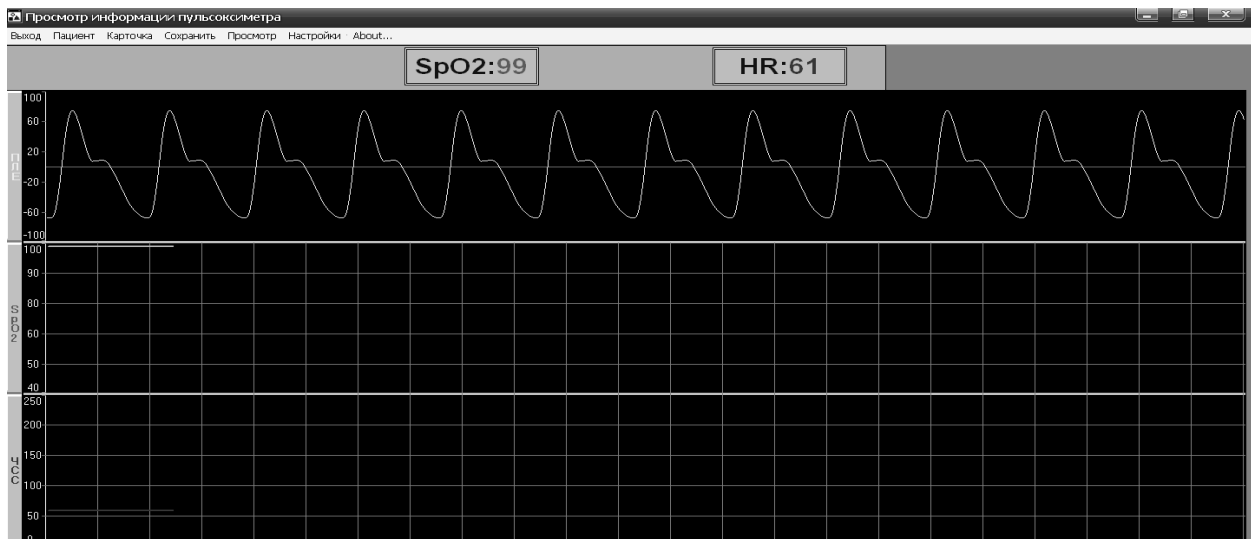


Рис. 2. Вікно зовнішнього вигляду програми PULSMETR

Недоліками цієї програми є:

- незручний процес установлення;
- нестабільна робота, що супроводжується відображенням аварійних повідомлень користувачу;
- інтуїтивно незрозумілий та незручний інтерфейс (настройки COM-порту, відсутність головної панелі, зайві та не функціональні кнопки, нечіткі назви);
- необхідність вручну зберігати записані дані;
- роздільне завантаження ПЛЕ та SpO₂ з ЧСС в окремих вікнах програми;
- для використання змінених налаштувань програму потрібно перезапустити;
- дуже малий набір функцій (відсутність масштабування, статистики, тривожних повідомлень та інших).

В основу роботи покладено розробку ПЗ, що усуне недоліки, які є в стандартному ПЗ Pulsmetr.

Експериментальна установка, на якій проводились тестування розробленого ПО (рис. 3) складається з таких блоків: 1 – персональний комп'ютер; 2 – пульсоксиметр “ЮТАСОКСІ – 200”; 3 – датчик, що безпосередньо фіксується на пацієнті – 4.

Розроблено спеціалізоване ПЗ, яке дає змогу знімати необхідні дані, а саме: ЧСС, SpO₂ та показники фотоплетизмограми в реальному часі, також є можливість зберігання отриманої інформації.

Надалі експериментальні дослідження будуть використовувати отримані дані для прогнозування реакцій організму людини до різних видів навантажень на організм пацієнта

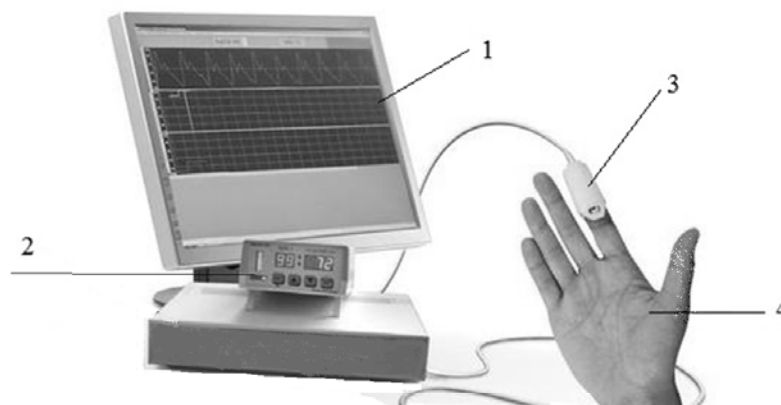


Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної установки

Структурну схему установки зображено на рис. 4: 1 – пацієнт; 2 – фотоплетизмограф; 3 – персональний комп’ютер; 4 – блок комутації; 5 – блок обробки даних; 6 – банк даних; 7 – порівняльний блок; 8 – дисплей.

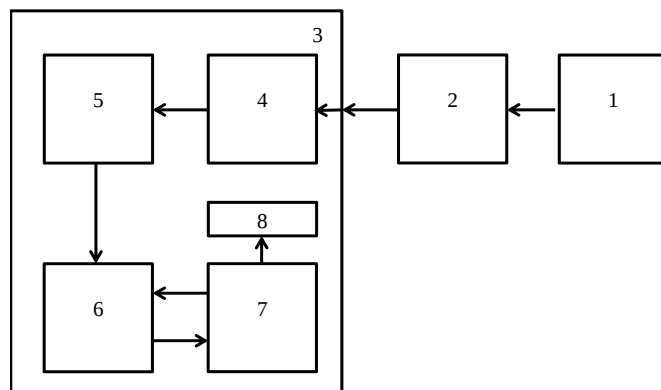


Рис. 4. Структурна схема експериментальної установки

Опис інтерфейсу головного меню розробленого програмного забезпечення

Запропоноване ПЗ “UtasOxi” (надалі розроблене програмне забезпечення), яке було програмно реалізовано за допомогою мови програмування Delphi, для можливості визначення обраних параметрів як аналог стандартного ПЗ Pulsmetr (надалі існуюче програмне забезпечення), яке розроблене компанією UTAS (Україна), до пульсоксиметра “ЮТАСОКСИ-200”, що зображений на рис. 3. ПЗ “UtasOxi” є швидким і зручним ПЗ для знання значень сатурації, частоти серцевих скорочень, фотоплетизмографічної кривої. Виміри знімаються в реальному часі і відображаються на трьох відповідних до показів графіках. Дані після завершення вимірювань можна зберігати у файлі таблиць Excel. Головне вікно програми зображено на рис. 5.

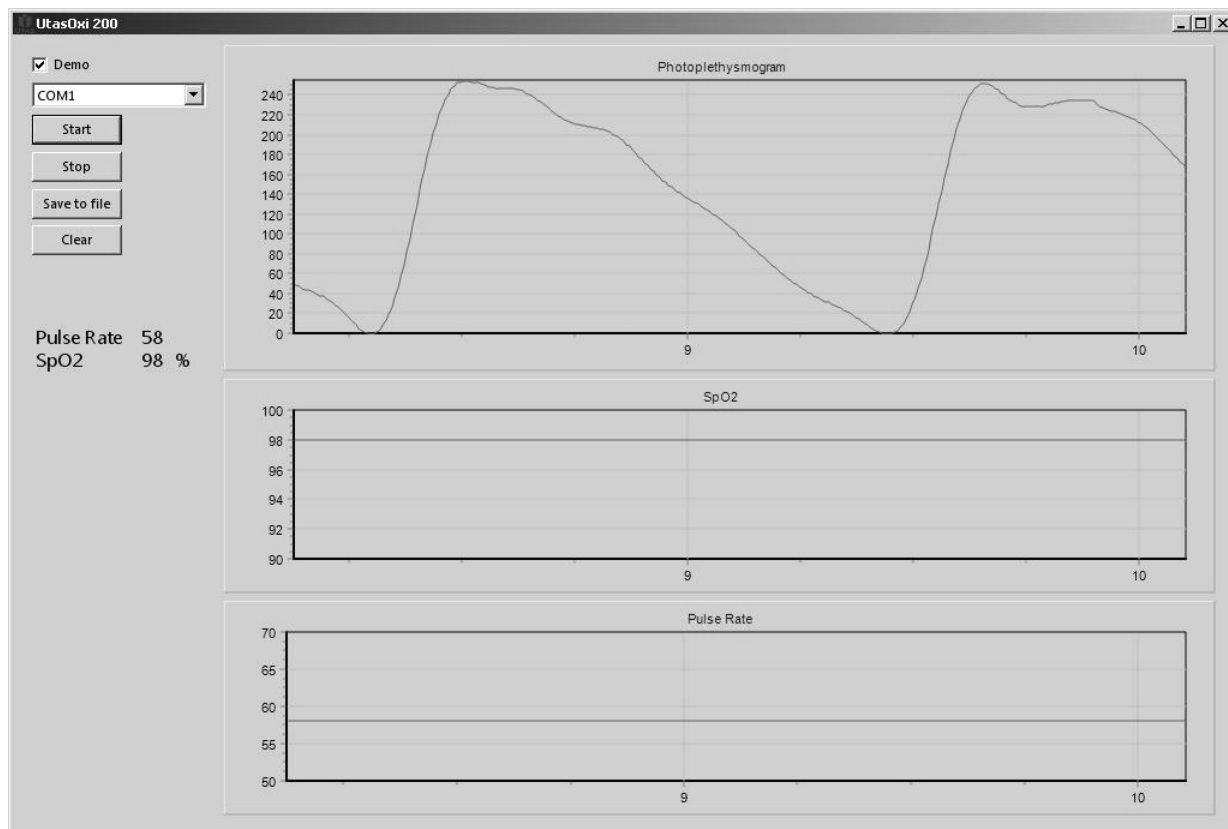


Рис. 5. Фрагмент інтерфейсу розробленого ПЗ

Можна назвати такі переваги розробленої програми:

- отримані результати досліджень є більш стабільними порівняно зі стандартним ПЗ Pulsmetr;
- реєстрація вимірів виконуються в режимі реального часу;
- система має більш зручний та простий інтерфейс;
- програма виконує масштабування графіків;
- є можливість переміщення графіків відносно осі абсцис;
- збереження результатів в файл таблиць Excel.

Недоліками розробленого програмного забезпечення є:

- відсутність статистичної обробки вимірів;
- можливість зняття вимірів тільки з пульсоксиметра “ЮТАСОКСИ-200”, відсутня підтримка інших пульсоксиметрів;
- відсутня підтримка роботи з пацієнтами.

Алгоритм роботи розробленого комплексу

Для зручності користування програмою, створено алгоритм роботи з розробленим програмним забезпеченням (рис. 6), який містить такі пункти:

1. Одягти датчик пульсоксиметра на палець пацієнта.
2. Обрати опції з'єднання з приладом у настройках програми.
3. Розпочати запис вимірювання.
4. Завершити запис вимірювання.
5. Зберегти отримані дані.
6. Проаналізувати отримані дані.

Використати результати у подальшій діагностиці або прогнозуванні ФС пацієнта.

Опис експерименту

Для визначення функціонального стану людини пропонується такий алгоритм проведення процедури:

1. Знімаються фізіологічні параметри пацієнта в стані спокою протягом 60 с.

2. Пацієнт піддається фізичним навантаженням протягом 30 с (не зупиняючи при цьому моніторинг стану організму)

3. Після проведення впливу знімаються показники людини до моменту повернення їх в норму.

Було проведено дослідження на групі добровольців у кількості 20 осіб. На піддослідного встановлювали пульсоксиметричний датчик і протягом 60 секунд знімали дані, потім пацієнта піддавали фізичним навантаженням (присідав протягом 30 секунд), потім навантаження припиняли і спостерігали динаміку зміни амплітудних та часових параметрів пульсової хвилі.

Інформативні параметри фотоплетизмограми групуються за двома ознаками:

1. По вертикальній осі досліджуються амплітудні характеристики пульсової хвилі, які відповідають анакротичному і дикротичному періоду. Незважаючи на те, що ці параметри є відносними, їх вивчення в динаміці надає цінну інформацію про силу судинної реакції. У цій групі ознак вивчаються амплітуда анакротичної і дикротичної хвилі, індекс дикротичної хвилі. Останній показник має абсолютне значення і має власні нормативні показники.

2. По горизонтальній осі досліджуються часові характеристики пульсової хвилі, що надають інформацію про тривалість серцевого циклу, співвідношення і тривалість систоли і діастолі. Ці параметри мають абсолютні значення і можуть порівнюватися з існуючими нормативними показниками. У цій групі параметрів вивчаються тривалість анакротичної фази пульсової хвилі, тривалість дикротичної фази пульсової хвилі, тривалість фази вигнання, тривалість пульсової хвилі, індекс висхідної хвилі, час наповнення, тривалість фази систоли серцевого циклу, тривалість фази діастолі серцевого циклу, час віддзеркалення пульсової хвилі, частота серцевих скорочень (рис. 7) [4].

Демо-режим вимкнено
 Параметри порту
 - ім'я Автоматично
 - швидкість 19200
 - паритет Немає
 - біти даних 8
 - стопові біти Один
 Запис плетизмограми вимкнено

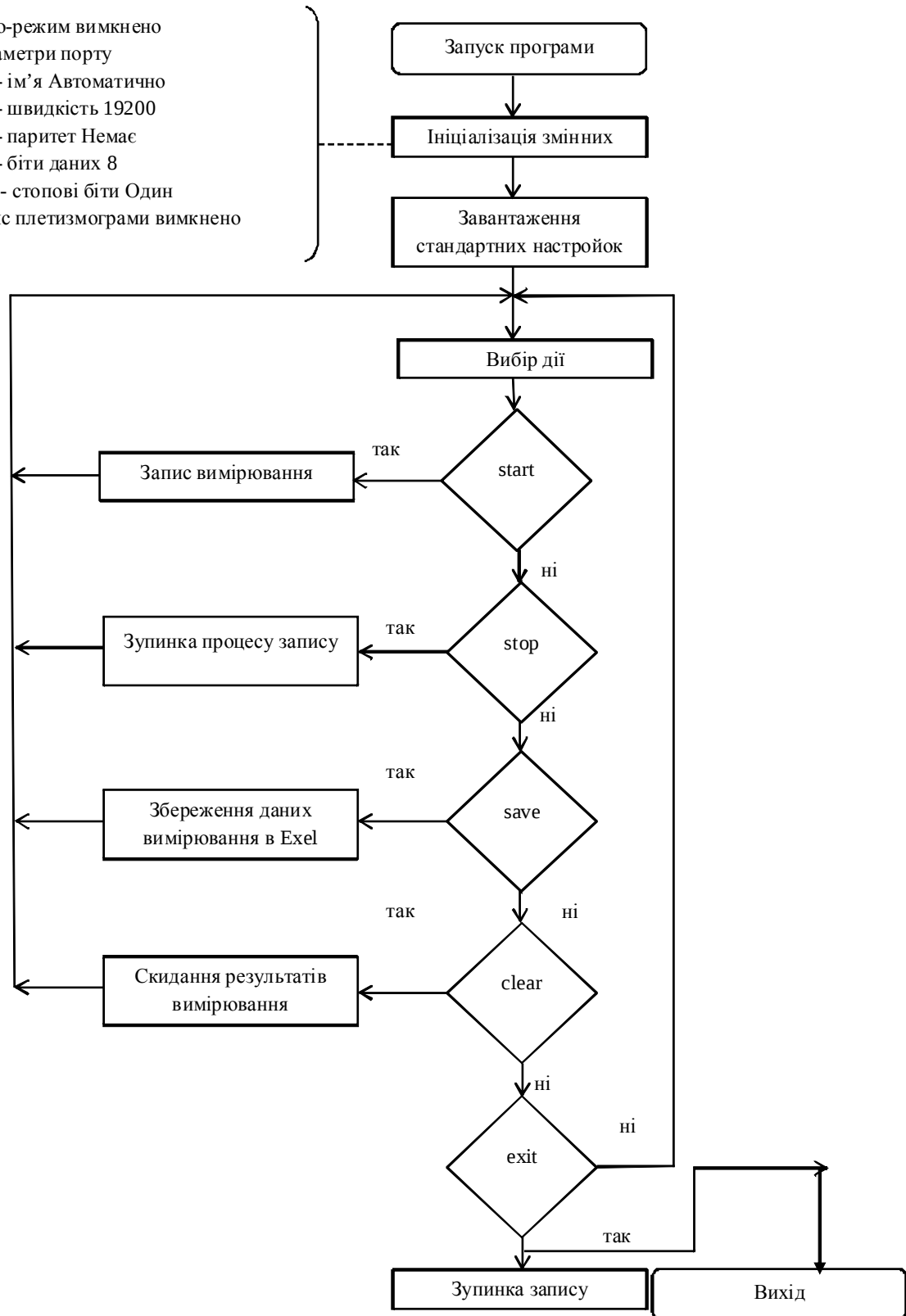


Рис. 6. Алгоритм роботи з розробленого комплексу

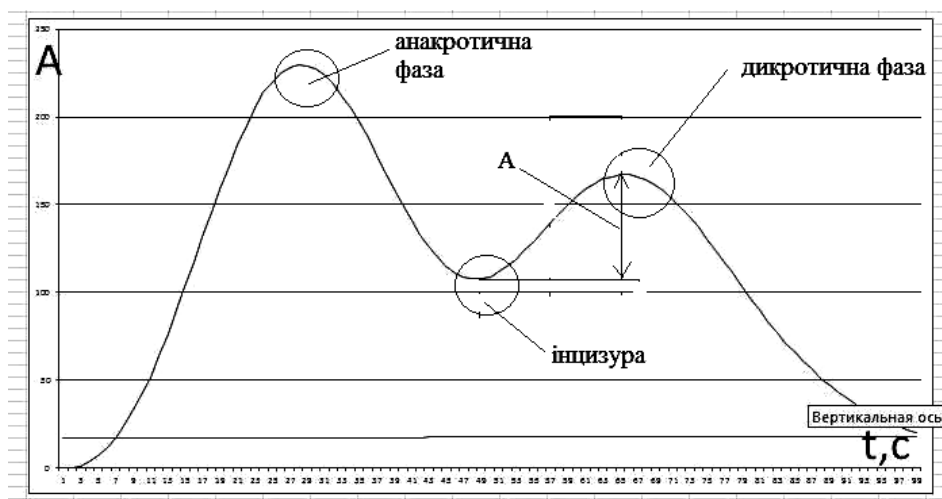


Рис. 7. Основні інформативні показники фотоплетизмограми

Методика обробки результатів експериментальних досліджень

За допомогою розробленого ПЗ можна аналізувати адаптацію організму людини до навантажень. Сьогодні автори розробляють чіткі параметри для визначення адаптаційного стану організму людини і надалі за допомогою розробленого ПЗ отримані результати досліджень можна математично обробляти з метою визначення адаптаційного стану організму пацієнта. Інформативними параметрами є значення амплітуди фотоплетизмограми, з аналізу літературних джерел встановлено, що отримані дані пацієнтів можливо поділити на п'ять реакцій: спокою, тренування, спокійна активація, підвищена активація і стрес. Перехід від однієї реакції до іншої відбувається при зміні базових показань (отриманих у стані спокою) на 20 %, тобто в 1,2 разу, цей коефіцієнт має назву – коефіцієнт реакції. За отриманими значеннями роблять висновки про функціональний стан пацієнта [3].

Данні з пристрою			
Час	Плетизмог	Оксигенат	Пульс
0,0066	223	100	70
0,0132	213	90	50
0,0198	202	99	77
0,0264	191	99	77
0,033	180	99	77
0,0396	168	99	77
0,0462	157	99	77
0,0528	147	99	77
0,0594	137	99	77
0,066	128	99	77
0,0726	121	99	77
0,0792	114	99	77
0,0858	110	99	77
0,0924	106	99	77
0,099	104	99	77
0,1056	103	99	77
0,1122	103	99	77
0,1188	105	99	77
0,1254	107	99	77
0,132	110	99	77
0,1386	114	99	77
0,1452	118	99	77
0,1518	122	99	77
0,1584	126	99	77
0,165	131	99	77
0,1716	134	99	77
0,1782	138	99	77
0,1848	141	99	77

Рис. 8. Фрагмент масиву даних одного з пацієнтів

Дані можна зберігати в Excel у вигляді таблиць (рис. 8). Також за допомогою Excel ми будемо фотоплетизмограму пацієнта (рис. 1).

Запропоновано розраховувати параметри ФПГ за таким алгоритмом обчислення:

1. Знайти точку мінімуму (рис. 2)

$$\min f(t_i) \in \{f(t_1), f(t_2), \dots, f(t_n)\}, \min f(t_i) < f(t)_{\text{максимальне}}, \quad (1)$$

де $\min f(t_i)$ – мінімальне значення з множини значень; $f(t_1), f(t_2), \dots, f(t_n)$ – множина значень функції у конкретний момент часу; n – кількість значень, на осі часу до моменту знаходження наступного мінімального значення; $f(t)_{\text{максимальне}}$ – максимальне допустиме значення мінімуму функції.

Для відокремлення точки мінімуму функції від точки інцизури, де значення також може знаходитися в точці з'єднання неперервно спадаючої і неперервно зростаючої функції, було запропоновано використовувати максимальне допустиме значення мінімуму функції $f(t)_{\text{максимальне}}$, значення якого емпірично встановлено на основі аналізу плетизмограм і дорівнює 50.

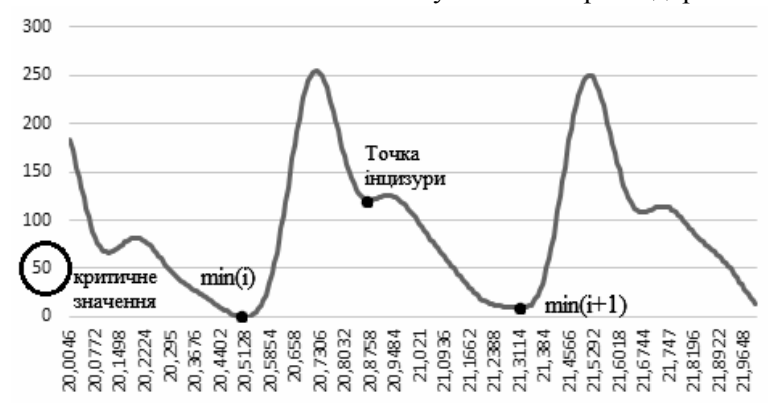


Рис. 9. Дані, отримані до проведення процедури

2. Знайти наступну точку мінімуму за формулою (1)

3. Знайти суму інтегралів кожного кардіоциклу.

$$\sum_1^{60} \int_{\min(i)}^{\min(i+1)} f(t) dt, \quad (2)$$

де $f(t)dt$ – крива, що відповідає значенню пульсу в конкретний момент часу, $\min(i)$ – точка на осі абсцис, що відповідає найменшому значенню пульсу, початок кардіоциклу, $\min(i+1)$ – наступна точка мінімального значення пульсу, кінець попереднього кардіоциклу і початок нового. Значення $\min(i)$ та $\min(i+1)$ повинні бути менші за граничне значення, щоб не сплутати їх з точкою інцизури.

4. З використанням методу числового інтегрування трапеціями рівняння знаходження інтегралу кожного кардіоциклу набуде вигляду:

$$\int_a^b f(t) dt \approx \left(\frac{f(a) + f(b)}{2} \right) + \sum_{i=1}^{n-1} f(t_i) \cdot h, \quad (3)$$

де $f(a)$ – значення функції в першій точці мінімуму (початок кардіоциклу); $f(b)$ – значення функції в другій точці мінімуму (кінець кардіоциклу); $f(t_i)$ – значення функції в момент часу t_i ; h – крок, з яким змінюється значення часу; n – кількість значень функцій на проміжку (a;b).

5. Знаходимо середнє значення площі фігури, обмежену лінією пульсової хвилі кожного кардіоциклу та осями початку і кінця кардіоциклу:

$$S_{\text{сеп}} = \frac{\sum_i^n S_i}{n}, \quad (4)$$

де S_i – значення площі фігури для кожного окремого кардіоциклу; n – кількість кардіоциклів.

6. Проводимо вплив на організм пацієнта тривалістю 30 с. Після цього обробка нових даних проходить за формулами(1–4).

7. Записуємо отримане значення середньої площі фігури при впливі.

8. Після завершення впливу обчислюємо середню площу фігури $S_{\text{сер}2}$ з інтервалом в 10 секунд за формулами(1-4).

9. Визначаємо час t , за який стан пацієнта нормалізується, тобто середня площа фігури після проведення процедури стане меншою або дорівнюватиме середній площі фігури до процедури $S_{\text{сер}2} \leq S_{\text{сер}}$.

Отже, у результаті експериментальних досліджень отримано дані фотоплетизмограм, які фіксувались у стані спокою та під час різного роду навантажень. Тому під час оброблення цих даних можна встановити показники, за якими визначають функціональний стан людини. Всі ці параметри в комплексі дають можливість визначати характер зміни функціонального стану людини при проведенні різних фізіотерапевтичних процедур.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

Цей комплекс дає змогу лікарям прогнозувати рівень адаптації людини до навантажень, що може бути використано при профвідборах та у лікувальних закладах при реабілітації. Це прогнозування реакцій організму людини до різних видів навантажень, що є дуже актуальним під час тренувань у спортсменів або буденної роботи працівників. Адже це дасть змогу виявлення на початковому етапі різних захворювання і вчасного їх вилікування.

Завдяки розробленому програмному забезпеченню до наведеного комплексу збільшилось кількість вимірів за секунду, а саме досягла відмітки 150 вимірів. На основі отриманих даних можна провести аналіз амплітуд, отриманих параметрів пульсової хвилі та прогнозувати адаптацію організму людини до навантаження. Результатами проведення досліджень є масиви значень пульсу, плетизмограми, насичення крові киснем та час вимірювання.

1. Тимчик Г. С., Філіпова М. В., Осадчий О.В, Пономаренко А. С., Стецька А. В. Вибір показників фотоплетизмограми для контролю адаптаційного статусу людини при магнітолазерній терапії // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. – 2014. – Т. 2, № 9 (68). – С. 14–18.
2. Ахлаков М. К., Гаджисєв А. С. Адаптаційна регуляція людини в процесі трудової діяльності (огляд літератури) // *Медицина праці та промислова екологія*. – № 5, 1997. – С.21–24.
3. Гаркави Л. Х. Антистрессорные реакции и активационная терапия [Текст] / Л. Х. Гаркави. – М.: Имедис, 1998. – 556 с.
4. Малиновский, Е. Л. Тест-прогнозирование индивидуальной реакции больных на курсовую низкоинтенсивную лазерную терапию [Текст]. Т. 10. / Е. Л. Малиновский, А. В. Картелишев, А. Р. Евстигнеев // *Ж. Лазерн. мед.* – 2006. – С. 14–21.