

[0000-0003-1727-3286] **С. О. Філімонов**, к.т.н., доцент,

e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

[0000-0002-6854-8676] **Д. С. Бачеріков**, аспірант,

e-mail: ababka94@gmail.com

[0000-0001-8405-4003] **О. В. Батраченко**, к.т.н., доцент,

e-mail: avbatrachenko1980@gmail.com

[0000-0001-9241-1760] **Н. В. Філімонова**, к.т.н., старший викладач

e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000, Україна

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ БІОПОТЕНЦІАЛІВ

У роботі наведено програмне забезпечення для аналізу біопотенціалів, яке дає можливість вимірювати, фільтрувати, відображати та аналізувати біоелектричні сигнали. Проведено огляд існуючих аналогів. Для створення програмного забезпечення було використано інтегроване середовище LabVIEW, призначене для створення інтерактивних програм збору, обробки даних і управління периферійними пристроями. Також наведено деякі результати досліджень, які виконані за допомогою розробленої програми для аналізу біопотенціалів.

Ключові слова: біопотенціал, LabVIEW, програмне забезпечення, електрокардіографія, електроенцефалографія, Arduino UNO.

Вступ. Одними з сучасних автоматизованих систем є системи біоуправління. Як керуючі сигнали ці системи використовують біоелектричні потенціали, що є застосовним у різних сферах. Найбільшого застосування системи біоуправління набули у сферах протезування, автоматизації, спорту та при діагностуванні стану людини [1].

Основними чинниками, які впливають на реєстрацію біопотенціалів людини, є внутрішні біоелектричні потенціали людини, які утворюються внаслідок роботи органів людини, та змінні зовнішні електромагнітні поля від приладів та пристроїв.

Для реєстрації біопотенціалів на сьогоднішній день використовується переважно таке програмне забезпечення (ПЗ), як: «Нейрон-Спектр.NET», «ПоліСпектр.NET», «Рео-Спектр.NET», «Спіро-Спектр», Cool edit, BiTronics Studio.

Серед діагностичних комплексів, що використовують зазначене програмне забезпечення, найбільшої уваги заслуговують комплекси «Спектр» та «BiTronics Lab».

Зокрема, діагностичні комплекси «Спектр» є комп'ютерними приладами, які призначені для дослідження біопотенціалів мозку людини, тобто електроенцефалографії (ЕЕГ), та серцево-судинної системи, тобто електрокардіографії (ЕКГ).

Отримані сигнали біопотенціалів передаються через USB на персональний комп'ютер, де й здійснюється подальша обробка даних за допомогою програмного забезпечення. Зовнішній вигляд діагностичного комплексу «Спектр» зображено на рисунку 1 [2-4].

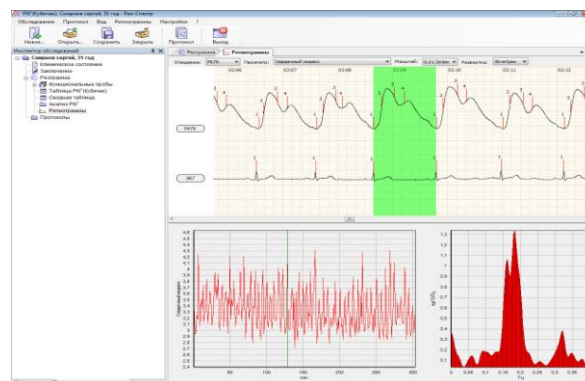


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд діагностичного комплексу «Спектр»

Серед більш досконалих розробок слід виділити комплекс «BiTronics Lab» [5]. Він включає модуль м'язової активності, модуль мозкової активності, оптичний плетизмограф, платформу Arduino Uno та програмне забезпечення.

Зовнішній вигляд плати ЕМГ-підсилювачів від компанії BiTronics Lab зображено на рисунку 2.

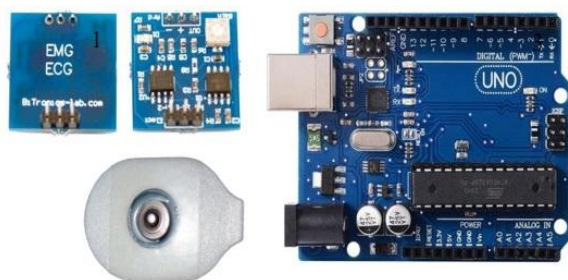


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд плати ЕМГ-підсилювачів від компанії BiTronics Lab

Для візуалізації та обробки сигналів із сенсорів BiTronics Lab використовує програму BiTronics Studio. Зовнішній вигляд базового вікна програми BiTronics Studio зображено на рисунку 3



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд вікна програми BiTronics Studio

Для коректної роботи мікроконтролера Arduino UNO, до якого підключалися електронні плати, необхідна бібліотека TimerOne, що використовується для формування правильних інтервалів часу. Програмування мікроконтролера здійснюється за допомогою Arduino IDE і модифікованих скетчів з поставки BiTronics Lab. Для реєстрації ЕЕГ сигналів на комп'ютері від підсилювача NVX24 використовується програма NeoRec. Програма записує сигнали в файли різних форматів (EDF + 16 bit, BDF + 24 bit, GDF 32 bit і т. д.) і потоки даних (LSL – Lab Streaming Layer) для подальшого аналізу і обробки програмним забезпеченням.

Для аналізу даних використовується мова Python і надані готові скрипти. Як середовище розробки оболонки використовується інтерактивна оболонка IPython на основі Jupyter. Ця оболонка надає розширену інтроспекцію, додатковий командний синтаксис, підсвічування коду й автоматичне доповнення

і є компонентом пакетів програм SciPy і Anaconda.

LabChart – платформа для збору, обробки та аналізу даних для Windows і OS X [6]. Розроблена так, щоб бути простою у використанні і підходити для широкого спектра типів сигналів, LabChart допомагає спростити процес запису, відображення і відтворення в режимі реального часу та запису даних у параметричній формі (рисунк 4).

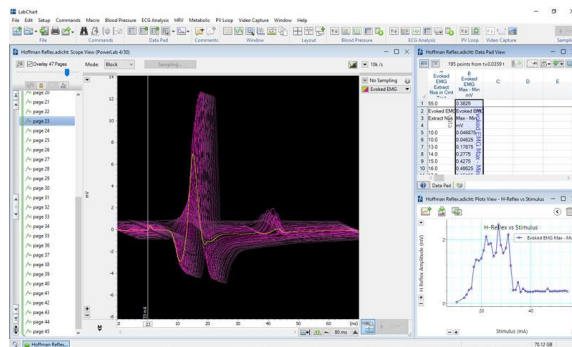


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд програми LabChart

Основними недоліками зазначеного програмного забезпечення та іншого ПЗ подібного типу є те, що воно вузькоспеціалізоване та не має можливості до перенастроювання на різні види біопотенціалів, наприклад рослинні.

Мета роботи – розробка універсального програмного забезпечення для аналізу біоелектричних потенціалів як людини, так і інших об'єктів живої природи.

Одним із прикладів бюджетного варіанта пакета програм, що можна використовувати для вимірювання біопотенціалів, є Cool Edit.

Програма Cool Edit дає змогу збирати дані зі звукового входу комп'ютера і відтворювати їх у режимі реального часу. За допомогою пакета програм Cool Edit було проведено деякі експериментальні дослідження, такі як; стискання руки в кулак 10 разів, зняття біопотенціалів зі щитовидної залози здорової людини та зняття біопотенціалів зі збільшеної щитовидної залози, але не деформованої.

На рисунку 5 зображено структурну схему системи реєстрації поверхневих біопотенціалів. У роботі [7] розроблено спеціалізований підсилювач на основі інструментального підсилювача AD620, який забезпечує коефіцієнт послаблення синфазного сигналу в 130 дБ, послабляє широкополосні шуми і гармоніки, що значно знижує вимоги до наступного апаратного фільтрування вихідного сигналу.

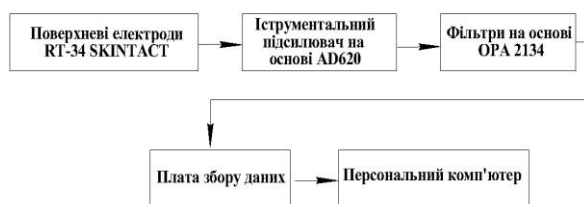


Рисунок 5 – Структурна схема системи реєстрації поверхневої ЕМГ

На рисунку 6 зображено діаграму біопотенціалів, яка відповідає стисканню руки в кулак 10 разів.

Для вимірювання біопотенціалу щитовидної залози на область шиї, де знаходиться щитовидна залоза, було накладено три електроди. Досліди проводили у період активності щитовидної залози, а саме з 20 до 22 години.

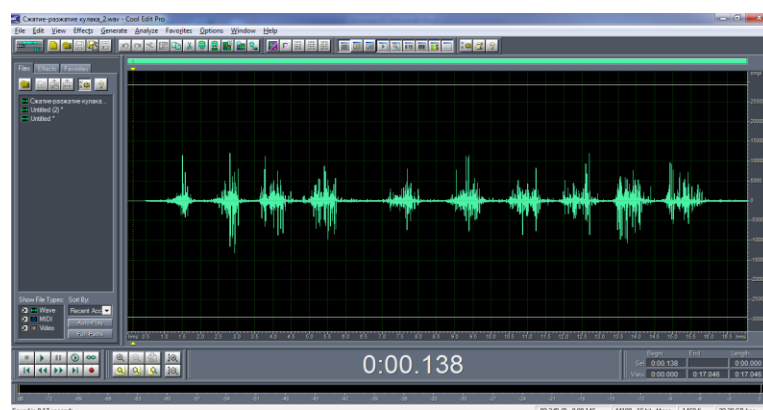


Рисунок 6 – Діаграма біопотенціалів стискання руки в кулак 10 разів

Наведемо два з багатьох експериментальних досліджень щитовидної залози. Перше вимірювання (рисунок 7) було проведено на здоровому пацієнті із такими висновками лікаря:

- однорідність, структура і об'єм щитовидної залози в межах норми;
- розміри правої і лівої долей не перевищують стандартних показників;
- – ехоструктура однорідна і без особливостей;
- – патологічні зміни органу відсутні.

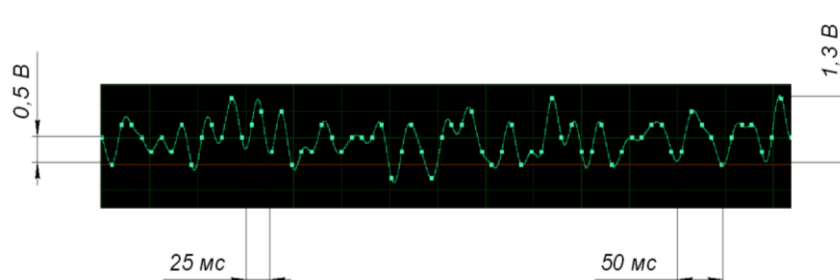


Рисунок 7 – Обробка сигналу біопотенціалу щитовидної залози здорової людини

Після попередньої програмної обробки були обчислені параметри сигналу, які становлять:

- мінімальна амплітуда сигналу – 0,5 В;
- максимальна амплітуда сигналу – 1,3 В;
- мінімальна тривалість сигналу – 25 мс;

- максимальна тривалість сигналу – 50 мс;
- середня частота сигналу – 27 Гц.

Друге вимірювання (рисунок 8) було проведено на пацієнті, в якого щитовидна залоза збільшена, але не деформує шию, тобто не візуалізується при огляді, проте пальпується.

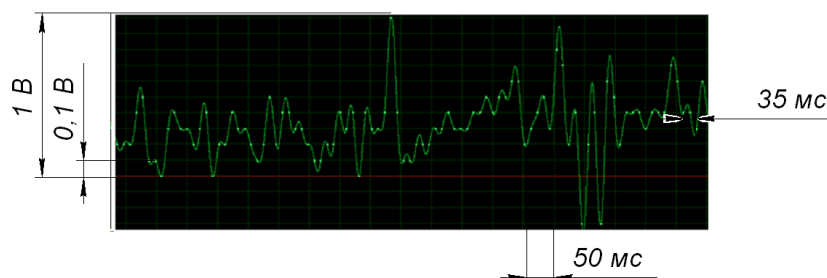


Рисунок 8 – Обробка сигналу пацієнта – щитовидна залоза збільшена, але не деформує шийю

Параметри сигналу становлять:

- мінімальна амплітуда сигналу – 0,1 В;
- максимальна амплітуда сигналу – 1 В;
- мінімальна тривалість сигналу – 35 мс;
- максимальна тривалість сигналу – 50 мс;
- середня частота сигналу – 24 Гц.

Якщо порівняти сигнали пацієнтів із здоровою та патологічною щитовидною залозою, то у хворого пацієнта спостерігається нестабільність коливань і великі перепади амплітуди коливань. За спектральними характеристиками сигнали хворої людини більш інтенсивні на нижчих частотах, ніж у здорової людини.

Таким чином, пакет програм можливо використовувати для отримання необроблених характеристик, що значно звужує використання пакетів програм такого типу.

Для вирішення представлених вище недоліків нами запропоновано розроблення програмного забезпечення на основі пакета програм LabVIEW, який надає можливості розширення функцій обробки і аналізу досліджуваного сигналу.

Ключовими елементами обробки сигналу є фільтри. Основною перевагою програмної реалізації фільтрів є можливість створення зручної системи обробки сигналу для лабораторних досліджень та відносна простота зміни їх параметрів під поточні задачі [8].

Створені за таким принципом пристрої називають віртуальними.

Віртуальний прилад виконує додаткову кінцеву фільтрацію сигналу, виведення даних на екран комп'ютера, збереження та відтворення файлів. Важливою вимогою є необхідність фільтрації кратних гармонік мережевої частоти електроживлення. Використання імпульсних безтрансформаторних блоків живлення висуває потребу фільтрації електромагнітної наводки на відповідних частотах модуляції [9].

У разі використання апаратно-програмної системи реєстрації поверхневої ЕМГ чітко видно, що на досліджуваній сигнал накладається синфазна напруга мережевої наводки 50 Гц та її гармоніки з приведеною до входу амплітудою приблизно 360 мкВ (рисунки 8 [10].

Без додаткової фільтрації мережевої наводки неможливо виділити корисний сигнал, оскільки амплітуда синфазної складової вимірюваного сигналу перевищує амплітуду сигналу поверхневої ЕМГ [11]. Програмна фільтрація реалізується спеціалізованим програмним забезпеченням з бібліотеки LabVIEW [12].

На рисунку 9 зображено частину внутрішньої блок-діаграми розробленої програмного забезпечення.

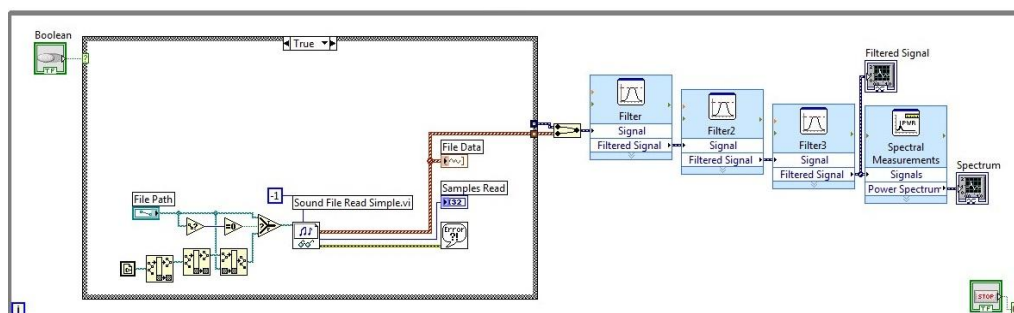


Рисунок 9 – Частина внутрішньої блок-діаграми розробленої програми

Лицьова панель розробленої програми складається з двох вкладок, одна з яких (Basic signal) відповідає за відображення необробленого сигналу цифровими фільтрами програми LabView, а друга (Filtered signal) – за відображення сигналу, який був оброблений декількома цифровими фільтрами LabView.

Зовнішній вигляд розробленого програмного забезпечення для аналізу біопотенціалів людини показано на рисунку 10.

На рисунку 11 зображено деякі експериментальні результати, які були зняті з м'язів передпліччя людини при згинанні пальців.



Рисунок 10 – Зовнішній вигляд розробленого програмного забезпечення для аналізу біопотенціалів людини

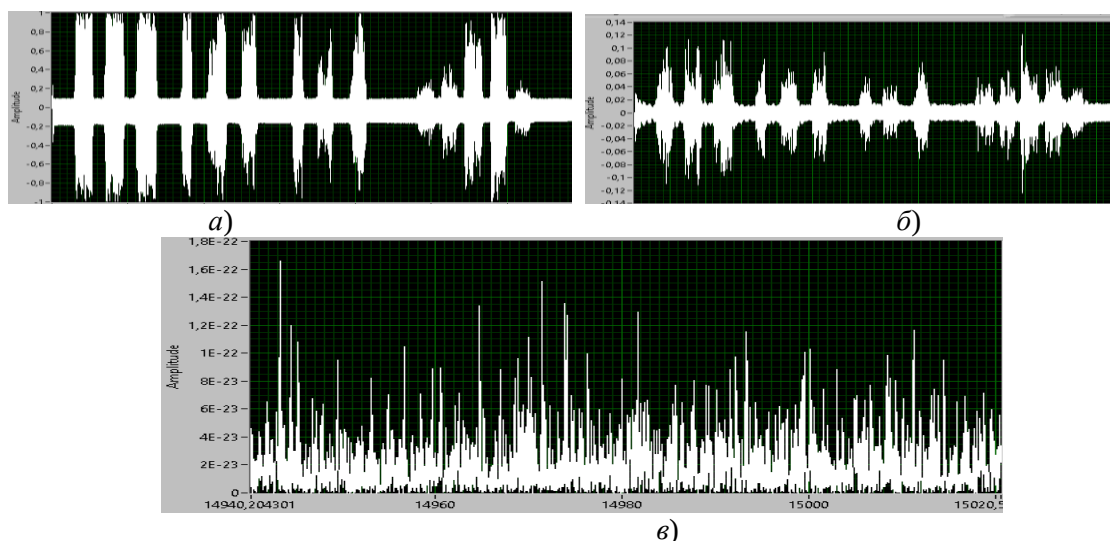


Рисунок 11 – Експериментальні результати з м'язів передпліччя: а) без фільтру; б) з фільтром; в) спектральна характеристика сигналу

З рисунка 8 видно, що при отриманні даних з вимірювального модуля сигналу наявні електричні завади. Завдяки розробленому програмному забезпеченню проблему електричних завад було вирішено (рисунки 11, б). Окрім цього, програма дає змогу отримати спектральну характеристику сигналу, яку зображено на рисунку 11, в.

Висновки. Таким чином, розроблене програмне забезпечення для аналізу біоелектричних потенціалів є більш універсальним завдяки можливості перенастроювання програми на комп'ютері. Це дасть можливість на базі розробленого комплексу проектувати медичні прилади, в яких основним інформативним сигналом є біопотенціал. Крім цього, завдяки розробленому програмному забезпеченню відкривається можливість проводити вимірювання біоелектричних потенціалів різної природи, наприклад біопотенціалів рослин в агропромисловій галузі.

Список використаних джерел

- [1] К. В. Зайченко, *Съём и обработка биоэлектрических сигналов: учеб. пособие* / под ред. К. В. Зайченко. Санкт-Петербург, Россия: СПбГУАП, 2001.
- [2] Комплекс комп'ютерний багатофункціональний для дослідження ЕЕГ і ЕКГ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http:// www.spectromed-ua.com](http://www.spectromed-ua.com)
- [3] Комплекс діагностичний Спектр+. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http:// www.spectromed-ua.com](http://www.spectromed-ua.com)
- [4] Комплекс діагностичний Рео-Спектр+. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http:// www.spectromed-ua.com](http://www.spectromed-ua.com)
- [5] BiTronics Lab. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bitronicslab.com>
- [6] LabChart. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.adinstruments.ru>

- [7] С. О. Філімонов, Н. В. Філімонова, Д. С. Бачеріков, та А. О. Мисан, "Вдосконалення засобів реєстрації біоелектричних потенціалів людини", на *VIII Міжнар. наук.-техн. конф. Датчики, прилади та системи – 2019*, Черкаси – Херсон – Лазурне, Україна, 2019, с. 93.
- [8] А. А. Федотов, и С. А. Акулов, *Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга*. Москва, Россия: Радио и связь, 2013.
- [9] Г. С. Векслер, В. С. Недочетов, В. В. Пилинский, М. В. Родионова, и В. А. Темников, *Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания: учеб. пособие*. Киев, Украина, 1990.
- [10] А. И. Потапов, Б. В. Самойлов, и И. А. Потапов, *Технические и аппаратно-программируемые средства медицины: науч. и учеб.-метод. справ. пособие*. Санкт-Петербург, Россия: СЗТВ, 2005.
- [11] В. Е. Махов, и А. И. Потапов, "Использование решений фирмы National Instruments в медицинском приборостроении". *Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий: межвуз. сб., вып. 11*, с. 220-225, Санкт-Петербург, Россия: СЗТУ, 2005.
- [12] И. А. Потапов, А. И. Потапов, и В. Е. Махов, "Приборы медицинской диагностики на базе решений фирмы National Instruments", на *Международ. науч.-практ. конф. Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: сб. трудов*. Москва, Россия: Изд-во РУДН, 2005, с. 122-127.
- [2] Computer multifunctional complex for the study of EEG and ECG. [Online]. Available: [http:// www.spectromed-ua.com](http://www.spectromed-ua.com)
- [3] Diagnostic Spectrum + complex. [Online]. Available: <http:// www.spectromed-ua.com>
- [4] Diagnostic Reo-Spektr+ complex. [Online]. Available: <http:// www.spectromed-ua.com>
- [5] BiTronics Lab. [Online]. Available: <https://bitronicslab.com>
- [6] LabChart. [Online]. Available: <https://www.adinstruments.ru>
- [7] S. O. Filimonov, N. V. Filimonova, D. S. Bacherikov, and A. O. Mysan, "Improvement of the means of registration of human bioelectric potentials", in *VIII Int. Sci.-Tech. Conf. Sensors, Devices and Systems – 2019*, Cherkasy – Kherson – Lazurne, Ukraine, 2019, p. 93 [in Ukrainian].
- [8] A. A. Fedotov, and S. A. Akulov, *Measuring converters of biomedical signals of clinical monitoring systems*. Moscow, Russia: Radio i sviaz, 2013 [in Russian].
- [9] G. S. Veksler, V. S. Nedochetov, V. V. Pilynsky, M. V. Rodionova, and V. A. Temnikov, *Suppression of electromagnetic interference in power circuits: textbook*. Kiev, Ukraine, 1990 [in Russian].
- [10] A. I. Potapov, B. V. Samoilov, and I. A. Potapov, *Technical and hardware-programmed means of medicine: sci. and training method. ref. manual*. St. Petersburg, Russia: SZTV, 2005 [in Russian].
- [11] V. Ye. Makhov, and A. I. Potapov, "Using National Instruments solutions in medical instrumentation." *Non-destructive testing and diagnostics of the environment, materials and industrial products: interuniversity. coll., iss. 11*, p. 220-225, St. Petersburg, Russia: SZTU, 2005 [in Russian].
- [12] I. A. Potapov, A. I. Potapov, and V. Ye. Makhov, "Medical diagnostic devices based on solutions from National Instruments," in *Int. Sci.-Pract. Conf. Educational, Scientific and Engineering Applications in LabVIEW Environment and National Instruments Technologies: proceedings*. Moscow, Russia: Izd-vo RUDN, 2005, pp. 122-127 [in Russian].

References

- [1] K. V. Zaichenko, *The removal and processing of bioelectric signals: textbook*. K. V. Zaichenko, Ed. St. Petersburg, Russia: SPbGUAP, 2001 [in Russian].

S. O. Filimonov, *Ph. D., associate professor*,
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

D. S. Bacherikov, *graduate student*,
e-mail: ababka94@gmail.com

O. V. Batrachenko, *Ph. D., associate professor*,
e-mail: avbetrachenko1980@gmail.com

N. V. Filimonova, *Ph. D., senior lecturer*
e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR BIOPOTENTIAL ANALYSIS

The paper provides biopotential analysis software that allows to measure, filter, display, and analyze bioelectric signals. In modern automated systems there are systems of biomanagement. These systems use bioelectric potentials as control signals, which is applicable in various fields. The largest application of biomanagement systems has been acquired in the fields of prosthetics, automation, sports and in the diagnostics of human condition.

The main factors affecting the recording of human biopotentials are the intrinsic bioelectric potentials of the human body that are generated as a result of the work of human organs, and the alternating external electromagnetic fields from devices.

To create the software, an integrated LabVIEW environment has been used. This LabVIEW software environment provides enhanced signal processing and analysis features.

The main advantage of software implementation of filters is the ability to create a convenient signal processing system for laboratory testing and the relative ease of changing their parameters for current tasks. Software filtering is implemented by specialized software from the LabVIEW library – a platform and development environment for the graphical programming language. An example of a filtered signal and a block diagram of a developed program for analyzing biopotentials has been also given.

Thus, the developed software for bioelectric potential analysis is more versatile due to the ability to customize the program on a computer. This will allow the development of medical devices based on the developed complex, in which biopotential is the main information signal. In addition, due to the developed software, it is possible to make measurements of bioelectric potentials of different nature, for example, the biopotentials of plants in the agro-industrial field.

Keywords: biopotential, LabVIEW, software, electrocardiography, electroencephalography, Arduino UNO.