

## ВИКОРИСТАННЯ ПУЛЬСОКСИМЕТРІЇ В РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ БЕЗПЕКИ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### **Анотація.**

*В роботі проведено дослідження пульсоксиметрів, які можуть використовуватись в радіотехнічних системах безпеки в автомобілях, літаках і т.д. Проаналізовано принципи побудови пульсоксиметрів щодо їх використання в портативних автомобільних системах. Була запропонована структурна схема радіотехнічної системи безпеки автомобіля з використанням пульсоксиметра, яка дозволить контролювати стан водія та відповідно підвищувати безпеку на дорогах.*

**Ключові слова:** радіотехнічна система безпеки, пульсоксиметрія, фотодіод, світлодіод.

### **Abstract.**

*In the work, a study of pulse oximeters, which can be used in radio technical security systems in cars, vehicles, etc., was carried out. The principles of construction of pulse oximeters in relation to their use in portable automobile systems are analyzed. A structural diagram of the car's radio safety system using a pulse oximeter was proposed, which allows monitoring the driver's condition and, accordingly, increasing road safety.*

**Keywords:** radio technical security system, pulse oximetry, photodiode, LED.

### **Вступ**

У процесі руху автомобіля, водій постійно оцінює дорожню ситуацію, а за показаннями датчиків і сигналізаторів панелі приладів отримує інформацію про роботу систем і функціональних показників. Але існує і інша сторона системи безпеки - оцінка стану здоров'я водія у процесі керування автомобілем. В даний час, існують окремі системи, які аналізують стан водія на предмет наявності алкоголю в крові водія. Наприклад, щоб завести авто потрібно пройти автомобільний драг-тест. Якщо результат тесту задовільний авто заводиться і можна їхати. В протилежному випадку – авто не заводиться. В цьому випадку це лише початковий тест, який можна легко обійти – наприклад, тест пройде пасажир. [1]

Необхідні також системи, які здатні з заданим кроком проміжку часу аналізувати певні характеристики стану здоров'я водія протягом часу керування транспортним засобом. Це дозволило б контролювати рівень можливостей і фізичної активності водія. У разі виникнення відхилень в показниках систем контролю здоров'я водія від нормованих значень, що викликано погіршенням стану здоров'я водія, система повинна рекомендувати спеціальний режим руху або відпрацювати команду зупинки транспортного засобу. Використання такої автономної системи дозволить реалізувати оперативний контроль допуску водія до роботи (вхідний контроль) без залучення фахівців. [2]

Одним із методів, які можуть використовуватися в таких системах, може бути контроль стану здоров'я водія через його дихання та пульс за допомогою пульсоксиметрії. Пульсоксиметрія – це метод трансмісійної спектрофотометрії, котрий базується на визначенні оптичних властивостей окисленого гемоглобіну. Принцип дії методу полягає в тому, що в залежності від ступеню насичення киснем, кров може по-різному пропускати світлову хвилю, яку фіксує пристрій. [3]

Таким чином в даній роботі буде проведено дослідження принципу роботи пульсоксиметрії та запропоновано структурну схему системи безпеки з її використанням.

### **Теоретичні дослідження**

Дихання – це невід'ємний фізіологічний процес, завдяки якому в організм людини потрапляє кисень. Кисень є головним компонентом майже усіх біохімічних реакцій в організмі людини. Кисень проникає з дихальних шляхів у систему крові через аерогематичний бар'єр стінки альвеоли і курсує у

крові в складі еритроцитів, які містять гемоглобін, що переносить зв'язаний кисень до тканин. [2]

Сатурація крові – це показник, що показує ступінь насичення артеріальної крові киснем. В нормі сатурація повинна бути в межах 95-99%. Низькі показники сатурації свідчать про розвиток дихальної недостатності, і вже за кілька хвилин рівень може з норми знизитися до критичної позначки.

Пульсоксиметрія — це неінвазивний метод черезшкірного моніторингу насичення (сатурації) гемоглобіну артеріальної крові киснем ( $SpO_2$  [насичення гемоглобіну киснем, що вимірюється під час газометрії, позначають символом  $SpO_2$ ]) і частоти пульсу. Для проведення цього дослідження використовують спеціальні прилади — пульсоксиметри. [1]

Принцип роботи пульсоксиметра полягає у трансмісійній спектрофотометрії, яка базується на використанні різних оптичних властивостей окисленого і відновленого гемоглобіну.

Пульсоксиметр є невеликим та компактним приладом. Він складається з джерела світла, датчиків, аналізаторів та детектора. Робота приладу базується на двох природних явищах: кров, в якій еритроцити насичені киснем, не поглинає світло так само, як збіднена кров зі зниженою концентрацією цього необхідного елемента; промінь світла, пропущений через кровоносну судину, буде пульсувати, повторюючи ритм серцевих скорочень. Рівень сатурації (вміст кисню в крові) дає цінну інформацію про стан серцево судинної та дихальної систем водія. [4]

Пульсоксиметри як окремі пристрої та сенсори  $SpO_2$  на фітнес-браслетах працюють за одним і тим же принципом. Але є невелика різниця, яка полягає у розташуванні сенсорів. [3]

У класичному пульсоксиметрі світлодіоди знаходяться з одного боку, а фотодіод - з протилежної. Світлодіоди випромінюють світло, яке проходить крізь палець і потрапляє на фотодіод, розміщений на звороті, як показано на рис. 1а. [4]

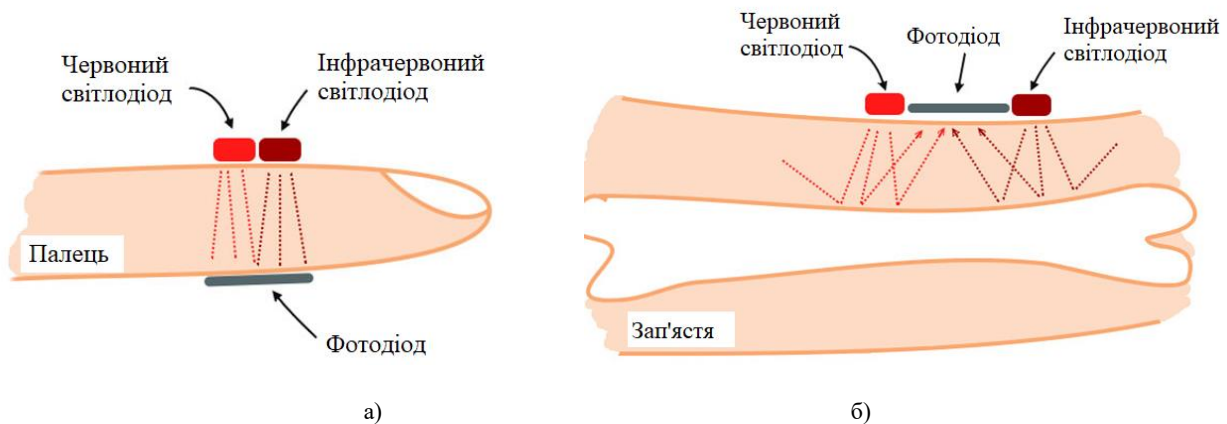


Рис. 1. Принципи роботи пульсоксиметрів

Приклад пульсоксиметра такого типу наведено на рис 2.

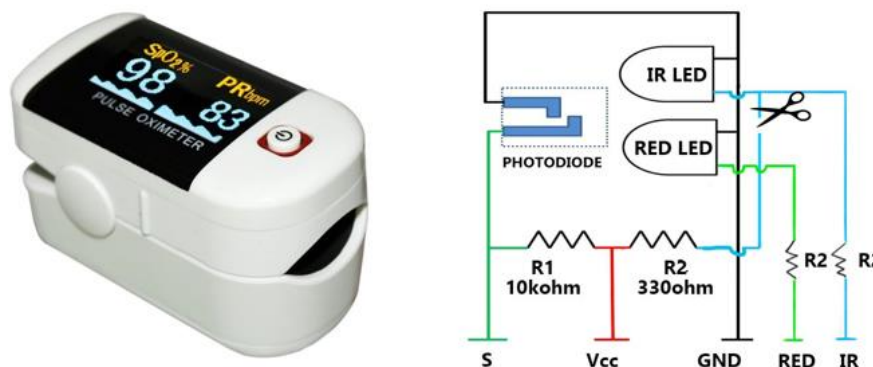


Рис. 2. Класичний пульсоксиметр для та його схема

Пульсоксиметр рис. 2 для вимірювання кисню в крові складається з наступних основних елементів [5]:

- світлодіоди червоного світла (довжина хвилі 600 нм);

- інфрачервоні світлодіоди (довжина хвилі 940 нм);
- фотоприймач (реєструючий датчик);
- процесор;
- внутрішня пам'ять;
- роз'єм для підключення до комп'ютера або монітора пацієнта (змінний);
- модуль передачі даних (у бездротових моделях);
- USB-роз'єм для підключення зарядного пристрою;
- вбудований дисплей.

Зазвичай такі пульсоксиметри надягають на палець чи мочку вуха, тобто на ту частину тіла, яку можна легко просвітити.

Але для фітнес-трекерів та смарт-годинників такий варіант не підходить, тому що просвітити зап'ястя не вийде.

В цьому випадку використовується структура рис. 1б, де фотодіод розміщується поряд зі світлодіодами і вже аналізується відбите світло. [5]

В основу роботи пульсоксиметра покладений наступний молекулярний процес: молекула гемоглобіну з іоном заліза в центрі може приєднати не більше чотирьох атомів кисню. Залежно від цього показника (рівня насичення) змінюється здатність крові пропускати частини світлового спектра. Кількість червоного та інфрачервоного світла, яка була поглинута кров'ю, що проходить через периферійну частину тіла (палець або палець ноги, мочку вуха), фіксується і аналізується внутрішнім мікропроцесором. На рис. 3. наведено графіки поглинання світла гемоглобіном залежно від довжини хвилі (тобто кольору) і типу гемоглобіну (окси- чи дезоксигемоглобін). [6]

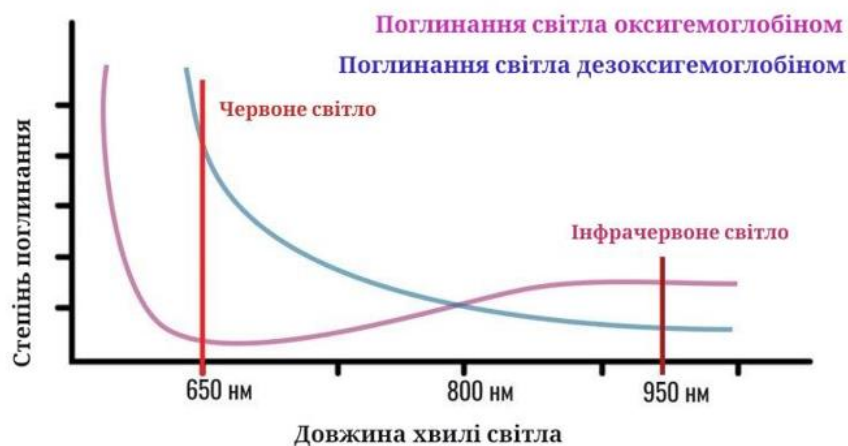


Рис. 3. Графіки поглинання світла гемоглобіном залежно від довжини хвилі і типу гемоглобіну

Як бачимо з рис.3, світло з довжиною хвилі 650 нанометрів практично не поглинається оксигемоглобіном (з киснем), але в той же час максимально поглинається дезоксигемоглобіном (без кисню). На рис. 3, відповідно, синій графік в цій точці (650 нм) досягає максимуму, а інший - мінімуму. І якщо хвилі 650 нм дуже добре поглинаються дезоксигемоглобіном, то хвилі 950 нм поглинаються ним дуже погано. Відповідно, в пульсоксиметрі використовується два світлодіоди. Перший випромінює червоне світло з довжиною хвилі приблизно 650 нм. А другий - інфрачервоне, довжина хвилі якого становить 950 нм. Для визначення рівня насичення крові киснем потрібно знати, скільки інфрачервоного і червоного світла поглинув гемоглобін. [6]

Отримані дані використовуються для розрахунку співвідношення гемоглобіну, насиченого киснем, до загального гемоглобіну артеріальної крові, і виражається у відсотках. Нормальними показниками є 95-100%. Результати далі опрацьовуються різними системами та виводяться на вбудований дисплей або передаються через радіовипромінювання на відстань.

Під час визначення сатурації одночасно вимірюється частота пульсу. [6]

Стандартна схема даних, які відображаються на вбудованому екрані класичного пульсоксиметра рис. 2, виглядає так:

- o верхній рядок - індикатори сигналу будильника, тонів серця та заряду батареї;
- o середня частина - цифрові значення фактичної сатурації та її граничного значення, пульсових

ударів за хвилину;

о нижній рядок - графік пульсової хвилі.

Прилад для вимірювання сатурації може бути у дротовому та бездротовому варіантах. Пульсоксиметр, підключений до комп'ютера або монітора за допомогою кабелів, вловлює менше завад і дає більш чіткий сигнал. При цьому зібрані дані є надзвичайно точними, а відповідне програмне забезпечення надає детальну і правильно інтерпретовану розшифровку. [2]

### Розробка структури радіотехнічної системи безпеки

Структурна схема запропонованого варіанту використання зображена на рис. 4.

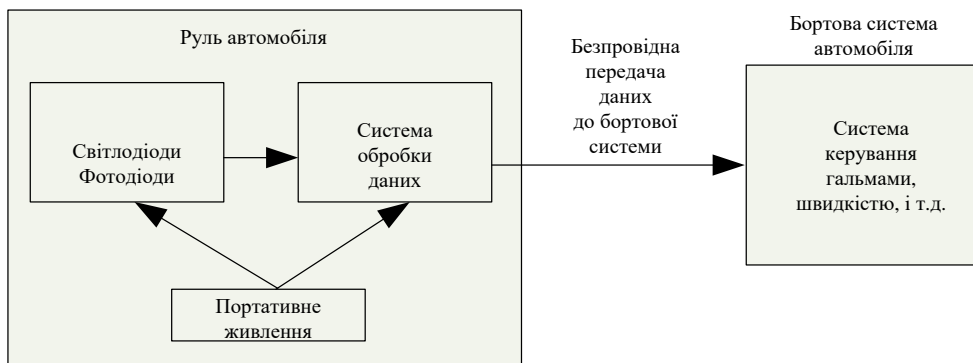


Рис. 4. Радіотехнічна система безпеки з пульсоксиметром

В радіотехнічній системі безпеки автомобіля рис. 4 використовується безпроводна передача даних пульсоксиметра, який вбудований в руль автомобіля, до бортової системи автомобіля. Відповідно, бортова система авто після отримання сигналів приймає рішення щодо можливого обмеження швидкості руху, або можливої повної зупинки авто й блокування подальшого руху.

Пульсоксиметр має портативне живлення, яке вмонтоване в рульове колесо. Слід зазначити, що рульове колесо обладнане серією світло та фотодіодів, оскільки водій може тримати руль руками в різних місцях. Система обробки формує кінцевий результат команди на бортову систему автомобіля.

Завдяки такому рішенню ми можемо постійно контролювати стан здоров'я водія, швидко реагувати на будь-які зміни та забезпечувати максимальну безпеку на дорозі.

З такою інтеграцією пульсоксиметрії, відкриваються нові можливості для динамічного моніторингу стану водія. Наприклад, коли водій проїхав певну відстань, він втомлюється і відповідно потрібна заміна водія. Інтегрована система пульсоксиметрії може використовуватися для виявлення інших потенційних проблем, таких як стрес або втома. Це забезпечує додатковий рівень захисту, гарантуючи, що водій завжди знаходиться в найкращому стані для водіння.

### Висновки

У майбутньому, з розвитком технологій і розширенням бази даних, можна буде створювати алгоритми, які прогнозують потенційні проблеми зі здоров'ям водія ще до того, як вони виникнуть, що сприятиме подальшому підвищенню безпеки на дорогах.

Інтеграція пульсоксиметрії в робоче середовище водія не лише підвищує безпеку безпосередньо під час подорожі, але може призвести до розробки нових систем підтримки. Наприклад, завдяки збору даних протягом тривалого періоду часу можна розробити систему раннього виявлення фізіологічних змін, які вказують на тривалий стрес або навіть початкові стадії захворювань, що можуть вплинути безпеку на дорогах.

Крім того, розширення арсеналу датчиків та їх інтеграція з пульсоксиметрією може створити комплексний портрет стану водія в режимі реального часу. Такі параметри, як частота серцевих скорочень, температура тіла, електрична активність мозку можуть бути включені в систему моніторингу, щоб забезпечити більш глибоке розуміння стану водія.

Пульсоксиметрія, як інноваційний інструмент моніторингу, дозволяє в режимі реального часу виявляти потенційні ризики для здоров'я водія. Впровадження таких технологій у робоче середовище

водія сприяє не лише забезпеченню його фізіологічної безпеки, але й підвищенню довіри до технічної частини автомобіля та посиленню психологічного комфорту під час подорожі. У майбутньому такий підхід може стати стандартом в сфері автомобілебудування, що підкреслює його актуальність і важливість в сучасному світі.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Strela, M., Dobridenko, O., & Gorokhov, G. Evaluation (classification) of power elements by areas of technical condition using the statistical recognition method and the expert method. Journal of Scientific Papers «Social Development and Security». Volume 10(4), 2022, pp. 3-11. DOI: 10.33445/sds.2020.10.4.1
2. Bolohin, A., Strela, M. Estimation of aircraft power elements by areas of technical condition using clustering algorithm and statistical recognition method. Political Science and Security Studies Journal. Volume 2, 2021, pp. 74-83. DOI: 10.5281/zenodo.4924240
3. Anilkumar M. Khamkar, P. D. Pote, Georgeena Elsa Jose. A Comparison of Finger Pulse Oximeter and SET-Based Neonatal Pulse Oximeter in Neonates in Terms of SpO2 Values and Response Time. The Indian Journal of Pediatrics. Volume 89(11), 2022, pp. 1-13. DOI:10.1007/s12098-022-04274-1
4. H. S. H. Perera, M. D. V. A. G. Jayawardena, N. N. Samarathunga. A Rechargeable Pulse Oximeter for Remote Monitoring of Multiple Patients. KDU Journal of Multidisciplinary Studies. Volume 4(1), 2022, pp. 62-84. DOI:10.4038/kjms.v4i1.40
5. Lenka Horakova, Karel Roubik. Pulse Oximeter Performance during Rapid Desaturation. Sensors. Volume 22(11), 2022, pp. 32-46. DOI:10.3390/s22114236
6. Raymond Gylys, John Feiner, Jonas Pologe, Theodore Delianides. Quantifying pulse oximeter accuracy during hypoxemia and severe anemia using an in vitro circulation system. Journal of Clinical Monitoring and Computing, Volume 2, 2023, pp. 46-56. DOI:10.1007/s10877-023-01031-3

***Притула Максим Олександрович** – к.т.н., старший викладач кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: pritulamo@ukr.net*

***Івацко Ольга Віталіївна** — студентка групи ТКР-20б, факультет інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Ivackoolga@gmail.com*

***Prytula Maksym Oleksandrovych** - Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pritulamo@ukr.net*

***Ivatsko Olha V.** — student of the group TKR-20b, Department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: Ivackoolga@gmail.com*