

МУХІН АНТОН

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

<https://orcid.org/0009-0001-7292-2333>

e-mail: mukhin@ff.dnu.edu.ua

ПЕТРЕНКО ОЛЕКСАНДР

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

<https://orcid.org/0000-0001-5648-5068>e-mail: dnu.petrenko@gmail.com

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО НАГЛЯДУ ЗА СТАНОМ ЗДОРОВ'Я ВОДІЯ ПІД ЧАС РУХУ АВТОМОБІЛЯ

Запропоновано інтеграцію в блок допомоги при керуванні сучасним автомобілем додаткової системи автоматизованого нагляду за станом здоров'я водія під час руху. Основною метою такої системи є догляд за критичними показниками здоров'я, такими як температура, серцевий тиск, рівень кисню в крові у відсотковому співвідношенні, показниками електрокардіограми, фотоплетизмограма та звукове дослідження легень та серця – стетоскопія. Запропоновано електронні схеми для реалізації керування даною системою та інтеграцію її до головного електронного блоку автомобіля за допомогою спеціального протоколу на основі послідовного інтерфейсу підключення. Одночасне зчитування, обробку та передавання даних планується реалізувати за допомогою операційної системи реального часу відповідних сенсорів. Обрано основні необхідні складові частини системи замірювання основних показників здоров'я – мікросхема, що використовується для зчитування та обробки сигналів електрокардіограми та фотоплетизмограми. Така система є особливо актуальною в сьогоденні, коли станом на 2020 рік, 25% всіх мешканців країни є водіями. Ще один показник, котрий робить цю систему особливо актуальною, це відсутність схожих систем на ринку. На момент написання статті немає вбудованих систем в автомобілях, котрі б дозволяли робити постійний моніторинг стану здоров'я водія. Такі системи існують тільки, як додаткові прилади та не є сертифікованими приладами і в більшості знаходяться у стані розробки. Система дозволяє попереджувати про небезпеку для водія, що є особливо критичним під час руху, та проводити активний та пасивний моніторинг роботи серця, накопичувати дані та відправляти за необхідності передавати їх лікарям для подальшого дослідження. Апаратна реалізація описана у вигляді електричних схем підключення сенсорів до основного мікроконтролера, котрий виконує керуючу функцію. Механічне підключення системи в автомобіль планується в місцях прямого контакту з тілом людини, такими як кермо, водійське сидіння, паски безпеки. Результати дослідження показують можливість реалізації такої системи, використовуючи сучасні компоненти і програмні рішення.

Ключові слова: система, автомобіль, моніторинг, електрокардіограма, автоматична, керування, схема.

ANTON MUKHIN, PETRENKO OLEKSANDR

Oles Honchar Dnipro National University

ELECTRONIC SYSTEM FOR MONITORING DRIVER'S HEALTH IN THE VEHICLE

It is proposed to integrate an additional system of automated monitoring of the driver's health while driving into the assistance unit of a modern car. The main purpose of such a system is to take care of critical health indicators such as temperature, heart pressure, blood oxygen level in percentage ratio, electrocardiogram indicators, photoplethysmography and sound examination of the lungs, and heart-stethoscopy. Electronic circuits for implementing the control of this system and its integration into the main electronic unit of the car using a special protocol based on the universal serial interface are proposed. The main microcontroller on which it is proposed to manage the system is STM32F412CG. Simultaneous reading, processing and transmission of data is planned to be implemented using the real-time operating system for the corresponding sensors. All the necessary components of the system for measuring the main health indicators have been selected. Such a system is especially relevant today, when in 2020 year, 25% of all residents of Ukraine are drivers. Another indicator that makes this system particularly relevant is the lack of similar systems on the market. At the time of writing, there are no embedded systems in cars that would allow for constant monitoring of the driver's health. Such systems exist only as additional devices which are not certified and are mostly under development. The system allows you to warn about the danger to the driver, which is especially critical during the movement, and to conduct active and passive heart monitoring, accumulate data and send, if necessary transfer them to doctors for further research. The hardware implementation is described as electrical diagrams for connecting the sensors to the main microcontroller, which performs the control function. The mechanical connection of the system to the car is planned in places of direct contact with the human body, such as the steering wheel, driver's seat, and seat belts. The results of the research confirm the possibility of implementation for such a system while using modern hardware components and programming solutions.

Keywords: system, vehicle, monitoring, electrocardiogram, automatic, control, schematics.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

У 2020 році в Україні на кожні 1000 осіб припадало 245 активних водіїв [1]. Для безпечного керування автомобілем важливо перебувати у високій концентрації та доброму стані й уважно відстежувати своє самопочуття під час поїздки. Управління авто вимагає постійної уваги до дорожньої обстановки, що може ускладнити виявлення погіршення самопочуття без допомоги ззовні. На щастя, існують різноманітні системи підтримки водіїв, такі як камерні системи паркування, парктроніки, АСГ (антиблокувальна система гальмування), СЕС(система електронної стабілізації), що запобігають пошкодженню і недолікам в керуванні. Здоров'я водія та інших учасників дорожнього руху є важливою складовою при користуванні

автотранспортом. Сучасні вбудовані технології все частіше включають в себе медичні технології та моніторинг серцевої діяльності, що відображає актуальні тренди в цій галузі.

Система автоматизованого моніторингу стану здоров'я водія, яка описана в статті, сприяє уникненню ДТП шляхом постійного відслідковування основних показників здоров'я під час керування автомобілем. Ця система має можливість попереджати або уникати ризиків для здоров'я, які виникають під час водіння.

Такі технологічні рішення також можна використовувати для неперервного та немінативного моніторингу стану здоров'я за допомогою медичного персоналу. Ці системи знаходять широке застосування в сучасній медицині, де вони грають важливу роль у запобіганні передчасних смертей, зумовлених захворюванням серцево-судинної системи.

Згідно зі світовими даними з охорони здоров'я, не дивлячись на досягнення в ранньому виявленні та лікуванні серцево-судинних захворювань, таких як інфаркти та серцева недостатність, витрати на лікування залишаються значними. 80% усіх витрат, пов'язаних з лікуванням серцевої недостатності, стосуються госпіталізації, проте 75% цих випадків можна уникнути з правильним моніторингом та попередженням [2].

Цифрова обробка сигналу (ЦОС), що використовується у системах обробки сигналів, орієнтується на різні методи покращення точності та надійності цифрових даних. Основним завданням ЦОС є уточнення або стандартизація рівнів чи станів цифрових сигналів. Схема ЦОС може відрізнити структуровані людським фактором сигнали від хаотичного шуму, який є неперервним супутником будь-яких комунікаційних систем.

Усі канали зв'язку мають певний рівень шуму, незалежно від формату сигналу (аналоговий або цифровий) та типу інформації, що передається. Інженери постійно працюють над покращенням співвідношення сигналу до шуму в системах зв'язку. Традиційні підходи включають збільшення потужності передавального сигналу та підвищення чутливості приймального пристрою, але ЦОС значно покращує цю чутливість.

Цифрова обробка сигналу особливо ефективна при високому рівні шуму, коли потрібно виявити корисний сигнал серед великої кількості перешкод. Наприклад, у системах моніторингу серцевої діяльності, де шум може бути значним, ЦОС допомагає відокремити корисний сигнал від завад.

Необхідно мати відповідні апаратні умови для застосування ЦОС на програмному рівні. Якщо шум настільки сильний, що приховує всі сліди сигналу, система ЦОС може втратити здатність до розпізнавання інформації в цьому хаосі, що може призвести до невдачі у зчитуванні сигналу.

Якщо вхідний сигнал аналоговий, наприклад, стандартна телевізійна станція, сигнал спочатку перетворюється в цифрову форму за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Результуючий цифровий сигнал має два або більше рівнів. Електрична схема ЦОС регулює рівні таким чином, щоб вони були на правильних значеннях, що практично усуває шум. Потім цифровий сигнал перетворюється назад в аналоговий за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). Такі схеми зазвичай являють собою кола з резисторів і конденсаторів потрібного номіналу і фільтрують високі або низькі частоти на лініях основного живлення схеми або на лініях опорних струмів.

На рис. 1 показано приклад частково відфільтрованого сигналу електрокардіограми (ЕКГ) з сенсору MAX86150 [3]. Цей сигнал відфільтровано від впливу лінії живлення, вирізані частоти 50, 100, 150 Гц. Але інформативна частина сигналу все ще залишається з шумами. Такий сигнал є придатним для цифрової обробки за допомогою програмних фільтрів.

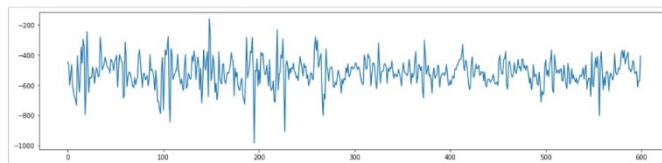


Рис. 1. Приклад сирого сигналу ЕКГ

Для порівняння на рис. 2 наведено форму відфільтрованого сигналу електрокардіограми для того ж сенсора.



Рис. 2. Відфільтрований сигнал ЕКГ

Аналіз досліджень та публікацій

Стаття [4] описує розробку системи моніторингу здоров'я водія в реальному часі на основі датчиків фізіологічних параметрів, таких як пульс та дихання. Використано різноманітні методи цифрової обробки сигналів для аналізу цих параметрів. Результати показали ефективність системи у виявленні небезпечних станів водія, таких як втомленість або стрес, за допомогою аналізу фізіологічних даних в реальному часі. Це

підкреслює важливість впровадження подібних систем у автомобільну промисловість для підвищення безпеки дорожнього руху та забезпечення оптимальних умов для водіїв.

У статті [5] автори досліджують можливість використання аналізу ЕКГ для вимірювання рівня стресу водія під час керування автомобілем. Вони використовують різноманітні алгоритми обробки сигналів та машинного навчання для цієї мети. Результати показують, що аналіз ЕКГ може бути ефективним засобом визначення рівня стресу водія. Це вказує на потенціал використання подібних технологій для створення систем, які автоматично реагують на стресові ситуації на дорозі, забезпечуючи безпеку як для водіїв, так і для оточуючих. Обидві статті підкреслюють значний потенціал цифрової обробки сигналів у сфері моніторингу здоров'я водіїв та підвищення безпеки на дорозі. Їхні результати вказують на необхідність подальших досліджень і можливість широкого впровадження подібних систем у автомобільну промисловість.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження покращення рівню безпеки водія з можливими серцевими порушеннями за допомогою удосконалення існуючих систем нагляду за водієм під час керування автомобілем. А також пропонується вибір сучасних компонентним і схеми електричного підключення компонентів в системі. Одною з цілей також окреслюється можливість додавання сенсорів фотоплетизмограми (ФПГ), кров'яного тиску та стетоскопі, за допомогою мікрофонів, в елементи безпеки та керування автомобілю, таким чином щоб досягти необхідного контакту з тілом водія. Інформація з таких сенсорів зчитується за допомогою додаткового програмного забезпечення для одного з бортових процесорів автомобіля та/або додавання окремого контролера для зчитування та цифрової обробки сигналів з сенсорів.

Виклад основного матеріалу

Для рішення поставленої задачі з розробки системи автоматизованого нагляду за станом здоров'я водія під час руху було вирішено зробити першочергове апаратне прототипування системи – для подальшої розробки програмного забезпечення і тестування. Вибір компонентів пав на компоненти, застосування яких поширено в медичних системах та автомобільних системах та серед професійних вбудованих систем. Розробку схематехнічної частини було проведено таким чином, щоби досягти максимально якісного рівня першого прототипу та з урахуванням можливості додавання нових сенсорів.

Було обрано основний мікроконтролер для зчитування та обробки даних в системі: STM32F412CG [6]. Приведений мікроконтролер має всі необхідні інтерфейси для підключення сенсорів – декілька ліній інтерфейсу Inter Integrated Circuit(I2C) [7] для підключення сенсору MAX86150 та температурних сенсорів, інтерфейс Universal Asynchronous Receiver-Transmitter(UART) [8] для налагодження системи та виведення допоміжних повідомлень при тестуванні системи, а також для передачі даних, Universal Serial Bus(USB) [9] у разі переходу на новий інтерфейс передачі даних до головуючих компонентів – інтерфейс може працювати, як у режимі High Speed (HS) [9] так і в режимі Full Speed(FS) [9]; Serial Peripheral Interface(SPI) [10] – для можливості подальшого підключення додатковий сенсорів на високошвидкісному інтерфейсі та Inter Integrated Circuit Sound (I2S) [11] лінії аудіо інтерфейсу для опитування мікрофонів, таймери для допоміжних функцій системи та реалізації ділення частот при підключенні двох мікрофонів з метою реалізації стерео звуку та інше.

Основним елементом системи є мікроконтролер STM32F412CG до якого підключені всі інші блоки та сенсори. Живлення на контролер подається за допомогою USB інтерфейсу. Для перетворення живлення інтерфейсу 5В в потрібний рівень використовується використовується перетворювач постійного струму MIC33050 [12]. Електрична схема підключення мікроконтролеру показана на рис. 3.

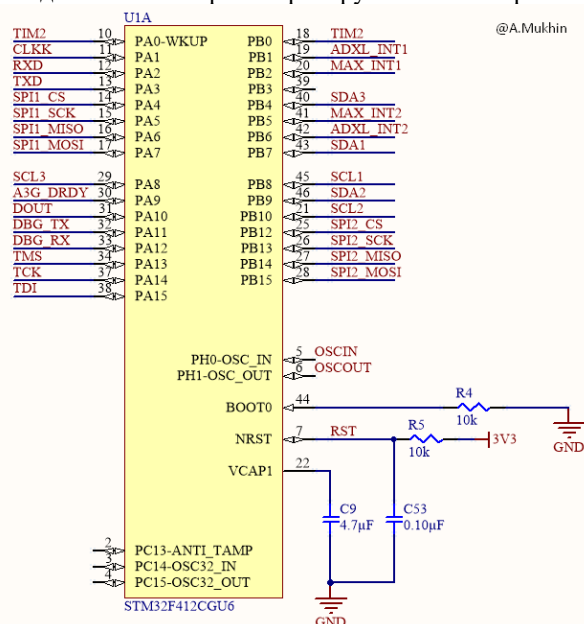


Рис. 3. Електрична схема підключення мікроконтролеру STM32F412CG

Для замірювання критично важливих показників здоров'я ЕКГ та оксигенації було використано мікросхему MAX86150. Ця мікросхема оснащена вбудованою чергою на 32 елементи кожного типу. Та має виводи під 3 контакти ЕКГ. Рекомендації до розведення надані в технічній документації на сенсор повністю виконані. Також було виконано додаткові рекомендації технічних спеціалістів компанії виробника для покращення співвідношення сигналу до шуму. Крім цього мікросхема оснащена додатковими колами фільтрації на апаратному рівні вбудованими в сам сенсор. Важливим фактором є фільтрація постачання опорної напруги на сенсор та розміщення конденсаторів потрібного номіналу на лініях живлення мікросхеми. Електрична схема підключення сенсору MAX86105 представлена на рис. 4.

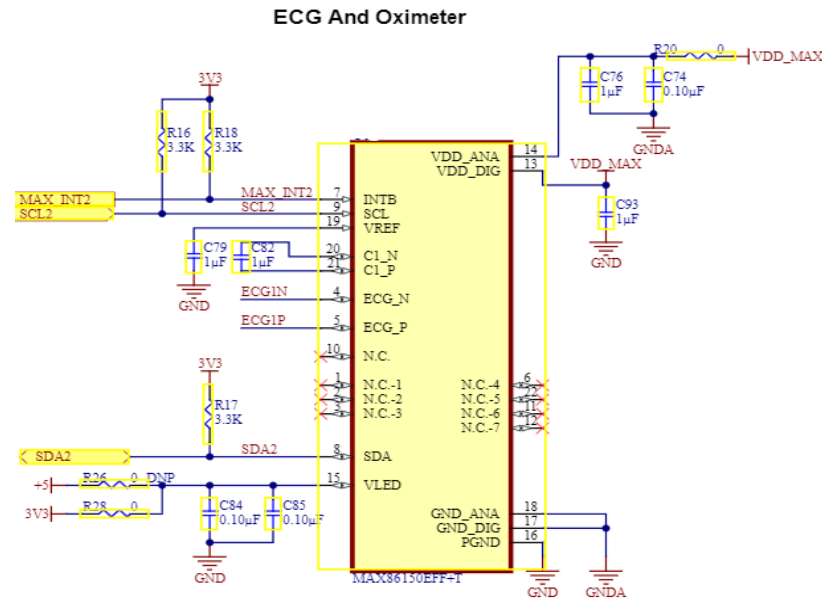


Рис. 4. Електрична схема підключення ЕКГ та ФПГ, MAX86150

Схему виконано у середовищі для розробки друкованих плат Altium Designer [13]. Були використані рекомендації з основного технічного документу мікросхеми мікросхеми MAX86150.

Схема фільтрації сигналу на контактах приведена на рис. 5.

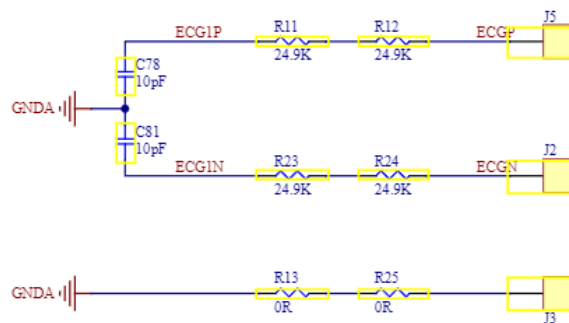


Рис. 5. Електрична схема підключення контактів ЕКГ на MAX86150[1]

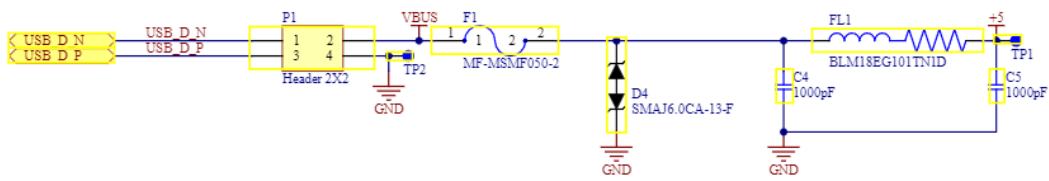
Реалізовано фільтр високих частот за допомогою RC кола [14]. Такий фільтр необхідний для видалення електромагнітного впливу з контактів електрокардіограми. Дані контакти називають сухими і необхідні вони для прямого дотику пальців або інших частин тіла, де можна вимірювати ЕКГ в одному виведенні. Вимірювання даних кардіограми з вказівних пальців лівої та правої руки еквівалентно вимірюванню у I відведенні.

Для забезпечення живлення системи може бути використано одну з ліній постійної напруги 5В системи автомобіля. Для прототипування пропонується використовувати USB інтерфейс. На рис. 6 показана схема розведення напруги 5В та 3.3В на плату системи для живлення складових частин.

Як можна побачити додаткова фільтрація ліній напруги реалізована за допомогою застосування RC – кола та феритових намистинок. Для додаткової можливості тестування апаратних недоліків передбачено використання тестових точок на платі.

Система стерео звуку реалізована за допомогою таймера для ділення частоти тактування. Таке підключення необхідно задля отримання необхідної тактової частоти на кожному з сенсорів одночасно. Для стерео звуку на схемі прототипу додано два мікрофони, які працюють на інтерфейсі I2S. Схему підключення можна переглянути на рис. 8.

Вхідний USB конектор 5В



Понижаючий трансформатор 3.3В

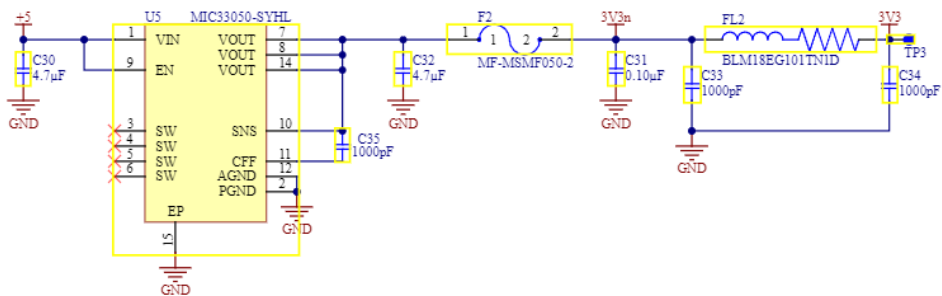


Рис. 6. Електрична схема постачання живлення на прототип системи

Понижуючий трансформатор на з 5В на 3.3В обрано з великим запасом потужності. Такий трансформатор має максимальне навантаження в 600 мА та низький рівень відхилень напруги.

Також окремим компонентом є понижуючий трансформатор напруги на з 5В на 1.8В, який потрібен для забезпечення цифрової та аналогової лінії живлення сенсору MAX86150. Схему підключення надано на рис. 7.

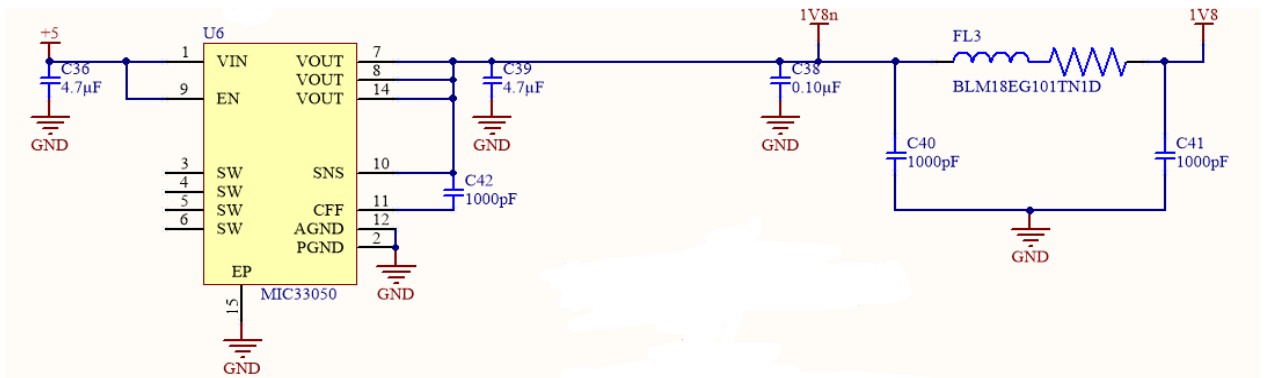


Рис. 7. Електрична схема постачання напруги 1.8В на прототип системи

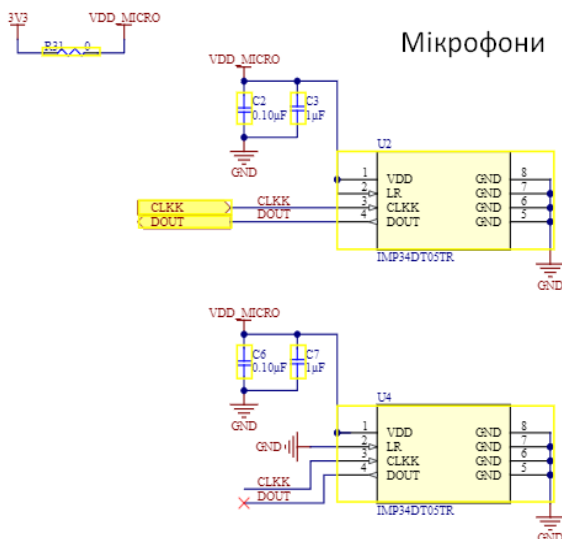


Рис. 8. Електрична схема підключення мікрофонів

З метою підвищення безпеки водіїв у сучасному автомобільному транспорті, дослідження спрямоване на удосконалення існуючих систем нагляду за водієм під час керування автомобілем, зокрема з урахуванням можливих серцевих порушень. Пропонується вибір сучасних компонентів та оптимізація схем електричного підключення цих компонентів в системі, що сприятиме покращенню функціональності та забезпеченню безпеки водіїв.

Основною ідеєю є використання спеціальних сенсорів, таких як датчики ЕКГ, ФПГ, кров'яного тиску та мікрофонів для моніторингу фізіологічних показників водія під час керування. Ці дані можуть бути використані для негайного виявлення небезпечних станів водія, таких як стрес або втомленість, та вживання необхідних заходів для попередження аварійних ситуацій.

Додатковою ціллю є можливість використання цих систем в медичних цілях. Пацієнти з серцево-судинними захворюваннями можуть користуватися системою для моніторингу свого стану та передачі цих даних своєму медичному персоналу. Це відкриває нові можливості для підтримки пацієнтів і забезпечення їхнього здоров'я під час керування автомобілем.

Важливою характеристикою є те, що використання систем ЕКГ та ФПГ в автомобільній техніці на сьогоднішній день є мало розповсюдженою практикою. Такий підхід відкриває шлях до новаторських рішень у сфері автомобільної безпеки та медичного моніторингу, що робить дане дослідження актуальним та важливим для подальшого розвитку цих напрямків.

Висновки

Висновки цієї роботи надають важливі вказівки щодо можливостей покращення безпеки водіїв автомобілів, особливо для тих, у кого є серцево-судинні проблеми. Удосконалення існуючих систем нагляду та безпеки за допомогою сучасних компонентів та схем електричного підключення компонентів є ключовим аспектом для досягнення цієї мети.

Обрано основні компоненти системи, такі як сенсорні елементи, елементи живлення і схеми фільтрації та головний мікроконтролер. Визначено важливість можливого використання системи вимірювання стану здоров'я водія під час руху а також подальшої реалізації прототипу системи.

Література

1. Contributors to Wikimedia projects. List of countries and territories by motor vehicles per capita. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_and_territories_by_motor_vehicles_per_capita (date of access: 10.04.2024).
2. Forecasting the Impact of Heart Failure in the United States: A Policy Statement From the American Heart Association. PubMed Central (PMC). URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3908895/> (date of access: 10.04.2024).
3. Mixed-signal and digital signal processing ICs. Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max86150.pdf> (date of access: 22.04.2024).
4. Monitoring driver health status in real time / F. Hamza Cherif et al. *Review of Scientific Instruments*. 2020. Vol. 91, no. 3. P. 035110. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5098308> (date of access: 8.04.2024).
5. A health monitoring system using multiple non-contact ECG sensors for automotive drivers. IEEE Xplore. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7520539> (date of access: 12.04.2024).
6. An stm32f412cg microcontroller documentation. STMicroelectronics official. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f412cg.html> (date of access: 15.04.2024).
7. Contributors to Wikimedia projects. I²C. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/I²C> (date of access: 12.04.2024).
8. Contributors to Wikimedia projects. Universal asynchronous receiver-transmitter. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter (date of access: 21.04.2024).
9. Contributors to Wikimedia projects. USB. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/USB> (date of access: 12.04.2024).
10. Contributors to Wikimedia projects. Serial Peripheral Interface. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface (date of access: 13.04.2024).
11. Contributors to Wikimedia projects. I²C. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/I²C> (date of access: 4.04.2024).
12. MIC33050 Datasheet(PDF). All datasheets storage - *Electronic Parts Datasheet Search*. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1381504/microchip/mic33050.html> (date of access: 20.04.2024).
13. Contributors to Wikimedia projects. Altium Designer. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Altium_Designer (date of access: 14.04.2024).
14. Contributors to Wikimedia projects. Low-pass filter. *Wikipedia, the free encyclopedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Low-pass_filter (date of access: 14.04.2024).