



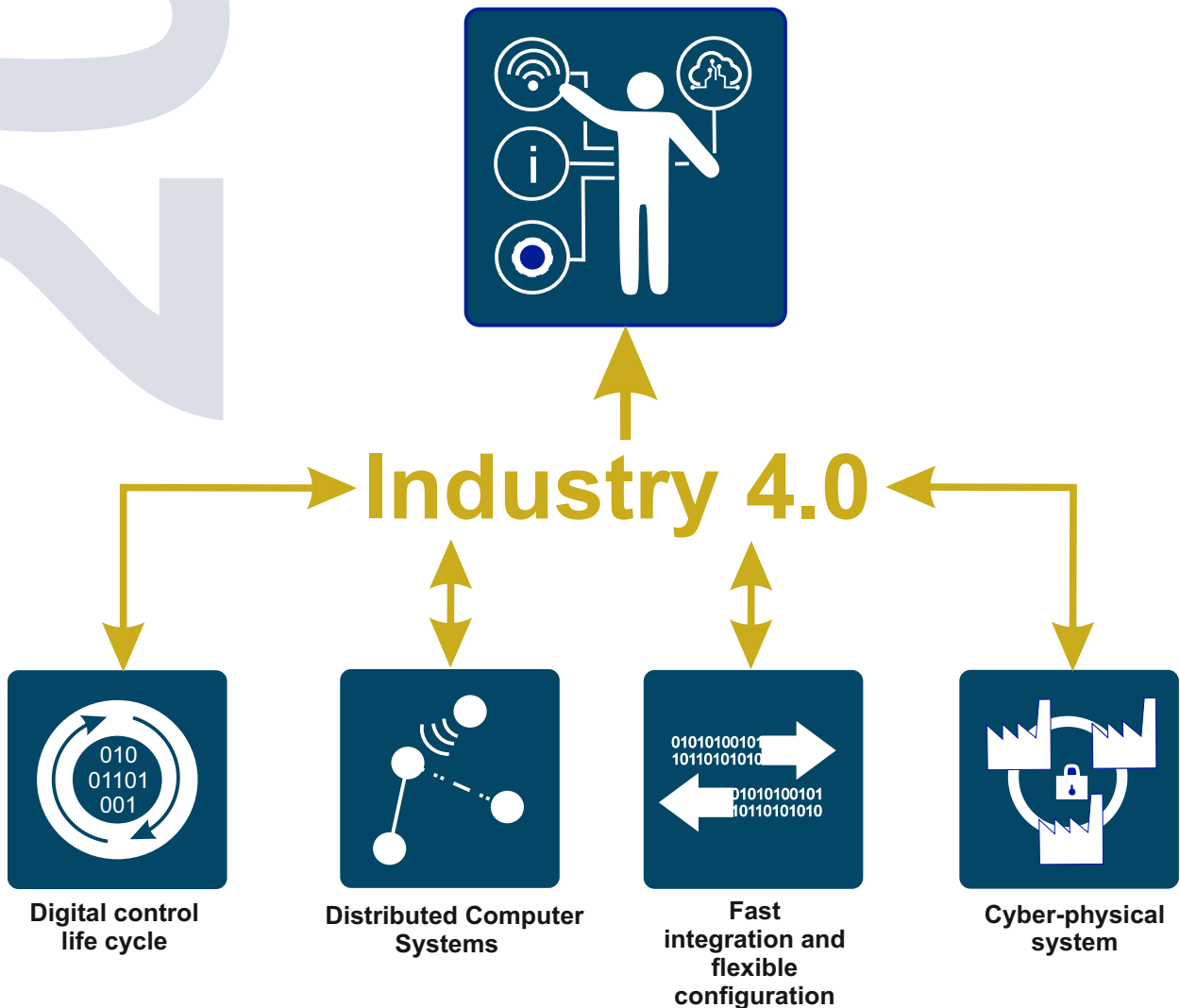
The Ministry of
Education and Science
of Ukraine

<https://nure.ua/>

Kharkiv National
University of
Radio Electronics

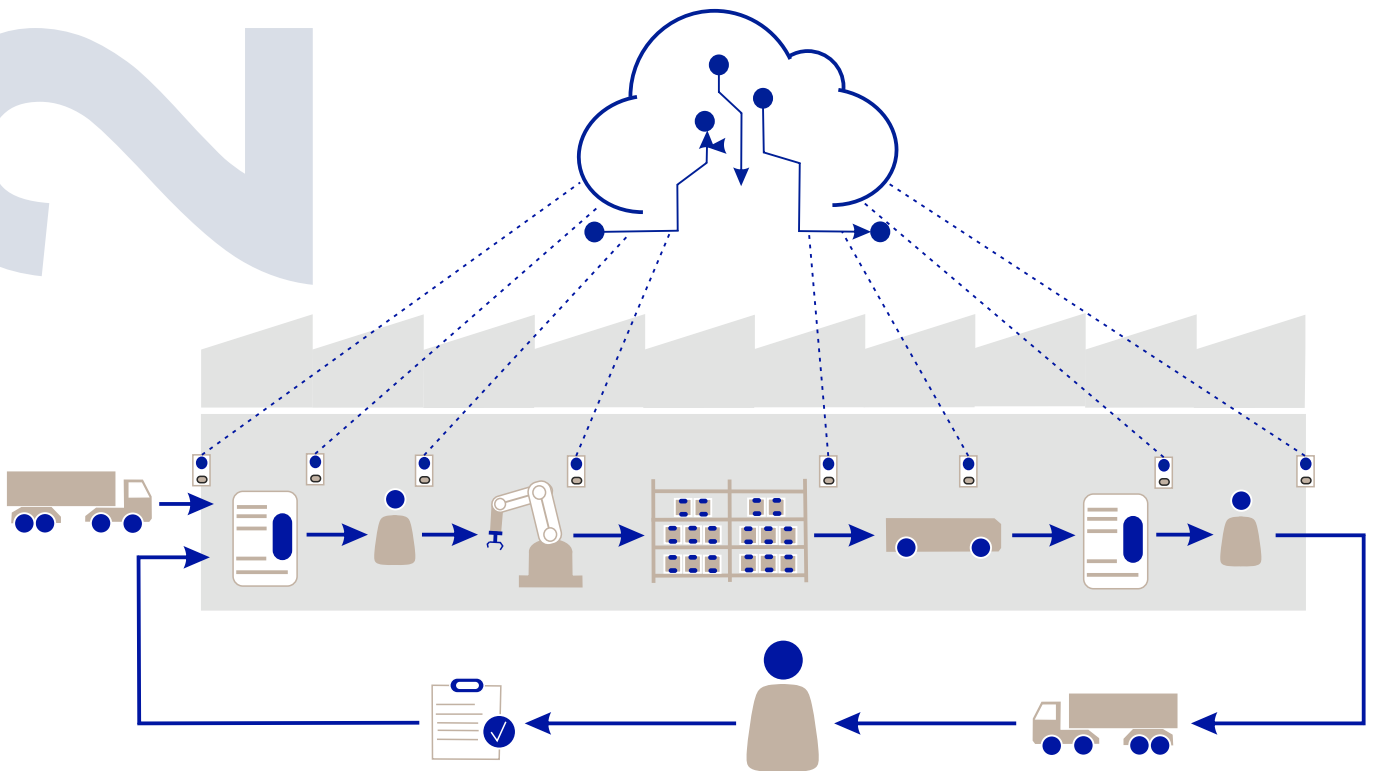
KITAM

COLLECTION
OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER
«Automation and Development of Electronic Devices»
ADED-2022
(Part 2)



ЗБІРНИК

студентських наукових статей
«Автоматизація та приладобудування»
ADED-2022
(Випуск 2)
[електронне видання]



→ Industry 4.0

- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Цимбал Олександр Михайлович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Андрусевич Анатолій Олександрович**, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету
- Косенко Віктор Васильович**, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».
- Замірець Микола Васильович**, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.
- Свищ Володимир Митрофанович**, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».
- Фомовська Олена Владиславівна**, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.
- Кухаренко Дмитро Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського
- Демська Наталія Павлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Фурманова Наталія Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент, в.о. декана факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».
- Відповідальний редактор:** **Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ АРТЕРІАЛЬНОГО ТИСКУ**В. Довженко**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першо-травнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: dkuch100@gmail.com

Анотація: Розглянуті питання щодо аналізу існуючих методів моніторингу артеріального тиску.

Ключові слова: неінвазивний вимір, артеріальний тиск, високопродуктивні мікроконтролери.

ANALYSIS OF BLOOD PRESSURE MONITORING METHODS**V. Dovzhenko**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: dkuch100@gmail.com

Anotations: Considered questions regarding the analysis of existing methods of blood pressure monitoring.

Keywords: non-invasive measurement, blood pressure, high performance microcontrollers.

ВСТУП. Серцево-судинні захворювання, переважно ішемічна хвороба серця та інсульт, є основними причинами смертності й одними з основних факторів інвалідності в усьому світі. Такі висновки отримані з дослідження Глобального тягаря хвороб (GBD – Global Burden of Disease) за 2019 рік.

Тягар серцево-судинних захворювань продовжує зростати протягом десятиліть майже у всіх країнах із середнім і низьким рівнем доходу. Викликає тривогу і той факт, що стандартизований за віком показник серцево-судинних захворювань почав рости в деяких країнах із високим рівнем доходу, де раніше він знижувався.

Виявлення випадків серцево-судинних захворювань майже подвоїлося з 271 мільйона в 1990 році до 523 мільйонів у 2019 році, а кількість смертей від серцево-судинних захворювань неухильно збільшувалася з 12,1 мільйона в 1990 році до 18,6 мільйона у 2019 році [1].

В Україні серцево-судинні захворювання є головною причиною смертності населення. За цим показником наша країна лишається одним зі світових лідерів. Основним із найважливіших факторів є те, що великий процент смертності від серцево-судинних захворювань полягає у діагностуванні хвороби вже на пізніх стадіях її розвитку. Наприклад, поширеність артеріальної гіпертензії серед дорослого населення України становить 35% [2] і така хвороба в багатьох випадках не може бути виявленою при відвідуванні лікаря (так звана гіпертонія білого халата). Саме неперервне вимірювання артеріального тиску призводить до поліпшення прогностичного значення цієї хвороби, і виявляє велику діагностичну цінність моніторингу артеріального тиску. Також зараз, в умовах пандемії гостро постало питання потреби сучасного пристрою для вимірювання показників серцево-судинної системи в домашніх умовах. Такою інновацією є неінвазивні пристрої неперервного моніторингу артеріального тиску.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Вражаючий прогрес інформаційних технологій в комп'ютерній області, у сфері медичних пристроїв і в сфері засобів комунікації вселяє обґрунтовані надії на аналогічні інновації у відношенні медичної техніки, приладів і пристроїв. З цієї причини в даний час виправдано зріс інтерес до нових медичних приладів, в

особливості до компактних мобільних пристроїв, так званих гаджетів. Відзначений прогрес передбачає прискорення темпів розробок і впровадження як принципово нових медичних технологій дослідження пацієнтів, так і істотного перегляду класичних підходів. Одним із найважливіших аспектів цієї проблеми є завдання розвитку інформативних, ефективних і надійних методів вимірювання та обробки медико-біологічних даних пацієнта. Тому розробка мобільного гаджету для неінвазивного виміру артеріального тиску є актуальною задачею.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Метод неінвазивного виміру артеріального тиску (АТ) – метод розвантаженої артерії, запропонований Пенъязом [3]. Цей принцип заснований на безперервній оцінці об'єму судин пальця по фотоплетизмографічному сигналу і електропневматичній системі, що стежить, що створює тиск, що протидіє зміні діаметра проходять під манжетою артеріальних судин у пальці руки. У цьому випадку забезпечується сталість фотоплетизмографічного сигналу на заданому рівні, а тиск у манжеті повторює тиск крові в артеріях пальця. Відомі також пристрої, функції яких входить безперервний неінвазивний вимір АТ в кровоносних судинах пальців руки, заснований на методі розвантаженої артерії. При роботі цих пристроїв на одну з фаланг пальця руки створюється зовнішній тиск, і одночасно на цій ділянці тіла реєструється фотоплетизмограма. Зовнішній тиск створюється пальцевою манжетою, а фотоплетизмограма реєструється за допомогою оптоелементів, вбудованих у корпус манжети.

Однак вимір АТ проводиться на периферичній ділянці артерії. Абсолютні значення тиску змінюються при видаленні місця вимірювання від серця, отже абсолютні значення тиску в пальці відрізняються від тиску в плечі. Зазвичай, систолічний АД підвищується, тоді як діастолічний АТ знижується, за збереження відносного зміни тиску.

Відомий метод апланаційної тонометрії. В даному випадку манжета розташовується на зап'ясті і містить датчик тонометра над променевою артерією. Датчик притискає артерію до променевої кістки настільки, щоб достатньо її стиснути, зробити контакт з її стінкою плоским (але не перетиснути до оклюзії). Потім через стінки судини за допомогою датчиків тиску реєструються пульсові зміни артеріального тиску. Величина тиску, необхідна для того, щоб ущільнити, але не закрити артерію, відома як "робоче зусилля притиску" і розраховується за досить складним алгоритмом, який включає попередні оцінки систолічного АД, діастолічного АТ і пульсового тисків.

Для вимірювання АТ може використовуватися як вихідний параметр швидкість поширення пульсової хвилі, що є функцією артеріального тиску. Даний метод полягає в тому, що обчислення АТ на кожному серцевому скороченні засноване на часі поширення пульсової хвилі, що визначається з електрокардіографією та фотоплетизмографічним сигналом з частини тіла пацієнта.

Необхідно відзначити, що перетворення до неінвазивного тиску, вимірюного в плечі, виконується на більшості пристроїв, хоча методи калібрування відрізняються. У приладі фірми CNSystems проводиться вимірювання АТ у плечі перед вимірюванням безперервного АТ у пальці. Потім обчислюється індивідуальна передатна функція та застосовується до сигналу АТ у пальці. Однак вимірювання АТ у плечі розділене в часі з вимірюванням АТ у пальці і не усуваються недоліки, властиві використаному методу вимірювання у плечі, і, отже, призводить до неправильного перетворення сигналу АТ у пацієнтів з сильним порушенням ритму та вираженою варіацією тиску.

У приладах фірми Finapres використовується глобальна передатна функція від тиску пальця до плечового. У ході роботи приладу виконується підстроювання установки фотоплетизмографічного сигналу без повторного виміру в плечі – Physiocalibration. Плечова манжета дозволяє отримати лише значення систолічного АД методом «return to flow». Не перериваючи вимір у пальці, накачується плечова манжета у тій руці до рівня тиску, що перевищує систолічний АД. Пульсації пальцевого тиску пропадають. Тиск у плечовій манжеті зменшується з контрольованою швидкістю до появи пульсацій у пальцевій манжеті.

Процедуру повторюють. Недоліками є можливість виміру лише систолічного АД; тиск у плечі вимірюється в інший час, ніж коригований сигнал; фіксуються поодинокі значення тиску, що не дозволяє визначити АТ у пацієнтів із сильним порушенням ритму та вираженою варіацією тиску; вимірювання на одній руці призводить до зміни гемодинаміки.

З усіх методів вимірювання артеріального тиску обрано осцилометричний метод та метод Пенъяз. Ці методи є найбільш пристосованими до неперервного неінвазивного вимірювання артеріального тиску, адже вони дають можливість зменшити вплив людського фактору на процес реєстрації тиску, що дозволяє знизити похибку вимірювання. Методика Пенъяз була описана в 1973 році і мотивувалася прагненням зменшити пов'язані з артеріальною катетеризацією ризики і при цьому зберегти переваги безперервного моніторингу артеріального тиску. Пенъяз використовував спосіб об'ємної компенсації, заснований на ідеї «розвантаження стін судин» (передбачається, що в «розвантаженому» стані тиск усередині судин дорівнює тиску поза ними). Основний елемент апарату (рисунок 1) є невеликою напальцевою манжетою, що містить джерело світла на одній стороні і ПЧ-приймач на протилежній, з їх допомогою за величиною поглинання світла оцінюється об'єм крові в пальці. Сигнал, отриманий від подібного «плетизмографа», потім використовується в ланцюгу зворотного зв'язку для регулювання величини тиску в манжеті. Тиск регулюється таким чином, щоб підтримувати об'єм крові в пальці постійним у часі, що дорівнює об'єму, який при калібруванні обраний як «розвантажуючий» судини. При цьому осциляції регулюючого тиску вважатимуться приблизно рівними тиску в артеріях.

Для розробки пристрою в якості основи використовуємо схему вимірювання артеріального тиску методом Пенъяз. Керуючий сигнал для зміни тиску – фотострум фотодіода. Світловий сигнал на фотодіод подається за допомогою світлодіода. Основна вимога до вибору цих елементів є їх спектральна узгодженість. Зазначивши, що ці елементи будуть розташовані в манжеті на пальці, варто врахувати їх розмір – він має бути мінімальним. При цьому світлодіод має генерувати світло з достатньою силою для засвітлення кінцівки, а фотодіод має забезпечувати швидкодію, достатню для фіксації сигналу про зміни об'єму артерії. Врахувавши ці вимоги та проаналізувавши ринкову пропозицію, було обрано наступні електронні компоненти:

- світлодіод – SFH 4725S;
- фотодіод – TSOP36336TT.



Рисунок 1 – Сучасна апаратура для неінвазивного безперервного вимірювання АТ: А – прилад «CNAP» на основі методу об'ємної компенсації Пенъязу; В – прилад «T-Line» на основі методу артеріальної тонометрії

Іншим відомим рішенням, що забезпечує неінвазивний безперервний вимір артеріального тиску, є артеріальна тонометрія. У ній, як і методі Пенъяз, оцінюються пульсові осциляції

артеріального тиску, але принцип «розвантаження стінок артерій» інший. У даному випадку манжета розташовується на зап'ясті і містить датчик променевої артерії тонометра (рисунок 2). Датчик притискає артерію до променевої кістки настільки, щоб достатньо її стиснути, зробити контакт з її стінкою плоским (але не перетиснути до оклюзії). Потім через стінки судини за допомогою тензодатчиків бічного тиску реєструються пульсові зміни артеріального тиску. Величина тиску, необхідна для того, щоб стиснути, але не закрити артерію, відома як «робоче зусилля притиску» і розраховується за досить складним алгоритмом, який включає попередні оцінки систолічного, діастолічного і пульсового тисків.

Згадані методи безперервного вимірювання АТ мають низку переваг і недоліків, їх детальне обговорення можна знайти, наприклад, у роботі [4]. На наш погляд головним недоліком існуючих неінвазивних методів є те, що незалежно від способів «розвантаження стінок судин», контроль розвантаження здійснюється в них на основі інтегральних параметрів (кровонаповнення, повна сила, що діє на датчик, зміщення датчика як цілого, тощо). Це дозволяє відносно непогано відстежувати «усереднену» пульсову хвилю АТ, але не гарантує передачі деталей форми імпульсу. Нами був запропонований інший спосіб вимірювання АТ, орієнтований на локальне розвантаження стінок артерій шляхом компенсації локального тиску.

Неінвазивний безперервний вимір АТ методом компенсації пульсового тиску. На основі аналізу відомих неінвазивних методів безперервного вимірювання АТ можна дійти висновку, що кращих результатів моніторингу нестаціонарної динаміки АТ вдалося досягти за допомогою так званих компенсаторних або близьких до них методів.

Методи компенсації застосовуються на практиці вимірювання різних фізичних величин і засновані на компенсації невідомої вимірюваної величини, яка протидіє керованій величині за допомогою зведення до нуля їх різниці. Найпростішим прикладом служать чашкові ваги, на яких невідома вага вимірюється за допомогою набору різновіси (гирі). Метод компенсації був обраний як принципова основа вимірювання мінливого в часі артеріального тиску. Застосування методу вимірювання динамічної величини стало можливим завдяки наступним обставинам. По-перше, АТ змінюється не так вже й швидко, його ритм становить по порядку величини один удар на секунду, а спектр вкладається в кілька десятків герц. А по-друге, на сьогоднішній день доступні відносно дешеві, високопродуктивні мікроконтролери (ATMEL, MICROCHIP, STMicroelectronics тощо), для яких динаміка АТ є практично квазістатичними змінами.

Проаналізувавши різні класифікації емоцій у людини, встановлено, що стрес є найбільш яскраво вираженою негативною емоцією, що несе деструктивний вплив на стан здоров'я пацієнта, та його серцево-судинну систему. В якості емоційної складової буде використовуватися стрес-індекс по Баєвському, який найбільш повно описує поведінку серцево-судинної системи під час стресової ситуації. Щоб оцінити індекс Баєвського в моделі потрібно врахувати варіабельність серцевого ритму. Після аналізу методів варіабельності серцевого ритму було вирішено скористуватися методом варіаційної пульсометрії.

ВИСНОВКИ: Для вимірювання АТ може використовуватися як вихідний параметр швидкість поширення пульсової хвилі, що є функцією артеріального тиску. Даний метод полягає в тому, що обчислення АТ на кожному серцевому скороченні засноване на часі поширення пульсової хвилі, що визначається з електрокардіографією та фотоплетизмографічним сигналом з частини тіла пацієнта. Іншим відомим рішенням, що забезпечує неінвазивний безперервний вимір артеріального тиску, є артеріальна тонометрія. У ній, як і методи Пенъза, оцінюються пульсові осциляції артеріального тиску, але принцип «розвантаження стінок артерій» інший. На наш погляд головним недоліком існуючих неінвазивних методів є те, що незалежно від способів «розвантаження стінок судин», контроль розвантаження здійснюється в них на основі інтегральних параметрів (кровонаповнення, повна сила, що діє на датчик, зміщення датчика як цілого, тощо). Це

дозволяє відносно непогано відстежувати «усереднену» пульсову хвилю АТ, але не гарантує передачі деталей форми імпульсу. Нами був запропонований інший спосіб вимірювання АТ, орієнтований на локальне розвантаження стінок артерій шляхом компенсації локального тиску.

Неінвазивний безперервний вимір АТ методом компенсації пульсового тиску. На основі аналізу відомих неінвазивних методів безперервного вимірювання АТ можна дійти висновку, що кращих результатів моніторингу нестационарної динаміки АТ вдалося досягти за допомогою так званих компенсаторних або близьких до них методів.

ЛІТЕРАТУРА

1. СЕРЦЕВО-СУДИННІ ЗАХВОРЮВАННЯ — ГОЛОВНА ПРИЧИНА СМЕРТІ УКРАЇНЦІВ. ВИСНОВКИ З ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛОБАЛЬНОГО ТЯГАРЯ ХВОРОБ У 2019 РОЦІ. Режим доступу до ресурсу: <https://phc.org.ua/news/sercevo-sudinni-zakhvoryuvannya-golovna-prichina-smerti-ukrainciv-visnovki-z-doslidzhennya>.

2. Ремоделирование левого желудочка у больных гипертонической болезнью и ишемической болезнью сердца в зависимости от вариабельности артериального давления / В.Д. Сыволап, Я.В. Земляной // Запорожский медицинский журнал. – 2011. – Т.13, вип. 6. – С. 61.

3. Значення добового моніторингу артеріального тиску у практиці сімейного лікаря: науково-методичне видання / М. М. Гечко, К. І. Чубірко, І. В. Чупей, К. Е. Маршалік, Х. А. Гечко. – К. : 612.461:616.6-073, 2013. – С. 23-26.

4. Chung E. et al. Non-invasive continuous blood pressure monitoring: a review of current applications. //Front Med, vol.7 N.1, 2013, сс. 91-101.

5. Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.

6. Yevsieiev, V. ., Maksymova, S. ., & Starodubcev, N. . (2022). A ROBOTIC PROSTHETIC A CONTROL SYSTEM AND A STRUCTURAL DIAGRAM DEVELOPMENT. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (August 12, 2022; Zurich, Switzerland), 113–114. <https://doi.org/10.36074/logos-12.08.2022.33>

7. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. ., 2022. – 427 с.

8. Attar, H., & et al. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.

9. Yevsieiev V. Analysis of Crawler Robots / V. Yevsieiev, S. Shmatko // “Innovations Technologies in Science and Practice” : The VI International Scientific and Practical Conference, February 15-18, 2022. – Haifa, Israel, 2022. – P. 510-514.

10. Yevsieiev V. Development of the Environmental Visualization System Based on ESP32-CAM / V. Yevsieiev, O. Luchaninova // Theory and Practice of Modern Science : The III International Scientific and Theoretical Conference, 1 April 2022. – Kraków, Republic of Poland, 2022. – Vol. 1. – P. 79-81.

11. Розробка 3D-моделі зооморфного мобільного робота для вертикальних переміщень по металевим поверхням / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, Н. П. Демська, В. О. Руденко // Наука і техніка сьогодні. – 2022. – № 4(4). – С.163-174.