

Розроблення бездротової системи дистанційного моніторингу показників фізичного стану особового складу військових та спеціальних підрозділів.

Разработка беспроводной системы дистанционного мониторинга показателей физического состояния личного состава воинских и специальных подразделений.

Development of a wireless system for remote monitoring of the physical condition indicators of military and special forces personnel.

1. **Номер державної реєстрації** 0118U003635
2. **Науковий керівник** – к.т.н., проф. Орлов А.Т., Орлов А.Т., Orlov A.T.
3. **Суть розробки, основні результати.**

(укр.) Створена уніфікована МЕМС технологія виготовлення сенсорів акустичних хвиль, розроблено додаткове технологічне обладнання та оснастка. Основна відмінність запропонованої технології – уніфікація спеціальних прийомів та технологічних режимів виготовлення базового конструктиву, чутливих та п'єзоелектричних шарів різних за призначенням сенсорів. Розроблені та досліджені експериментальні зразки сенсорів біопотенціалів для ЕКГ та ЕЕГ, ультрафіолетового випромінювання, прискорення (акселерометра) та концентрації кисню у крові і CO₂. Дослідження показали збільшення чутливості, розширення динамічного діапазону, зменшення часу відновлення та компенсація впливу параметрів зовнішнього середовища на характеристики сенсорів. Розроблені експериментальні зразки сенсорів біопотенціалів, ультрафіолетового випромінювання, прискорення, та пристрій зондуючого радіочастотного сигналу.

Розроблені фізико-топологічні та еквівалентні схемні SPICE моделі базової структури резонаторів ОАХ та ПАХ, створені компоненти САПР для конструювання та проектування мікросистем сенсорів і апаратури дистанційного збирання даних, алгоритми та вбудовані програми обробки і спільної роботи із засобами передачі інформації. Відпрацьована методика синтезу функціональних елементів бездротових сенсорних мереж та методичні рекомендації щодо їх використання у системах моніторингу фізичного стану особового складу підрозділів та характеристик оточуючого середовища.

(рос.) Создана унифицированная МЭМС технология изготовления сенсоров акустических волн, разработаны дополнительное технологическое оборудование и оснастка. Основное отличие предлагаемой технологии - унификация специальных приемов и технологических режимов изготовления базового конструктива, чувствительных и пьезоэлектрических слоев различных по назначению сенсоров. Разработаны и исследованы экспериментальные образцы сенсоров биопотенциалов для ЭКГ и ЭЭГ, ультрафиолетового излучения, ускорения (акселерометр) и концентрации кислорода в крови и CO₂. Исследования показали увеличение чувствительности, расширение динамического диапазона, уменьшение времени восстановления и компенсации влияния параметров внешней среды на характеристики сенсоров. Разработанные экспериментальные образцы сенсоров биопотенциалов, ультрафиолетового излучения, ускорение, и устройство зондирующего радиочастотного сигнала.

Разработанные физико-топологические и эквивалентные схемные SPICE модели базовой структуры резонаторов ОАХ и ПАВ, созданные компоненты САПР для конструирования и проектирования микросистем сенсоров и аппаратуры дистанционного сбора данных, алгоритмы и встроенные программы обработки и совместной работы со средствами передачи информации. Отработанная методика синтеза функциональных элементов беспроводных сенсорных сетей и методические рекомендации по их

использованию в системах мониторинга физического состояния личного состава подразделений и характеристик окружающей среды.

(eng.) The unified MEMS technology of production of sensors of acoustic waves is created, the additional technological equipment and equipment is developed. The main difference of the proposed technology is the unification of special techniques and technological modes of manufacturing the basic structure, sensitive and piezoelectric layers of different sensors. Experimental samples of biopotential sensors for ECG and EEG, ultraviolet radiation, acceleration (accelerometer) and oxygen concentration in blood and CO₂ were developed and studied. Studies have shown an increase in sensitivity, expansion of the dynamic range, reduction of recovery time and compensation for the influence of environmental parameters on the characteristics of sensors. Experimental samples of sensors of biopotentials, ultraviolet radiation, acceleration, and the device of probing radio frequency signal are developed.

Physico-topological and equivalent circuit SPICE models of the basic structure of OAH and PAH resonators have been developed, CAD components for construction and design of sensor microsystems and remote data acquisition equipment, algorithms and built-in programs for processing and collaboration with information means have been created. The method of synthesis of functional elements of wireless sensor networks and methodical recommendations on their use in systems of monitoring of a physical condition of personnel of divisions and characteristics of environment are developed.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

Патент України 136582, МПК(2019.01) G01R 27/04, G01R 27/26. Мікросмужкова комірка для визначення діелектричної проникності та фактору втрат матеріалів на надвисоких частотах / Д. Д. Татарчук, Ю. В. Діденко, Ю. М. Поплавко ; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – № у 201902285 ; заявл. 06.03.2019 ; опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16.

Патент України 135152, МПК(2019.01) G01R 27/04, G01R 27/26. Частотно-перелаштовувана мікросмужкова антена / А. О. Волошин, Ю. В. Прокопенко, та В. А. Казміренко; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – № у 201902285 ; заявл. 06.03.2019 ; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 12.

Патент України №130905, МПК(2019.01) G01R 27/04, G01R 27/26. Частотно-перестроювана діелектрична резонансна антена / А. О. Волошин, Ю. В. Прокопенко, та В. А. Казміренко; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – № у 201902285 ; заявл. 06.03.2019 ; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 24.

Патент України 126094, МПК (2016.01) C04B 35/453. Спосіб отримання однофазних мультифероїків на основі фериту вісмуту / О. В. Пашенко, Д. Д. Татарчук, М. О. Леденьов, Ю. В. Діденко, В. К. Прокопенко, Ю. М. Поплавко ; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Донецький фізико-технічний інститут ім. О. О. Галкіна НАН України. – № у 2017 11898 ; заявл. 05.12.2017 ; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Науково технічний рівень виконаної роботи та отримані результати відповідають світовому рівню. За рахунок застосування нових технічних рішень і підходів вдалося уніфікувати технологію виготовлення біомедичних, фізичних та хімічних сенсорів з використанням акустичних хвиль, розроблення їх базових конструкцій і використання радіочастотних методів збудження та зняття даних при спільній роботі сенсорів у мережі. При цьому сенсори мають вкрай мале енергоспоживання (або є пасивними, безбатарейними) і живлення їх може бути реалізовано за принципом Energy Harvesting від механічних рухів,

вібрацій або різниці температури тіла та навколишнього середовища завдяки використанню єдиних функціональних матеріалів (п'єзоелектричних і одночасно напівпровідникових тонких плівок або наноструктур) у конструкціях датчиків та перетворювачів енергії. Крім того, отримано ряд наноструктурованих композитних матеріалів для чутливих шарів із заданою морфологією наноструктур та розроблено технологічний поопераційний регламент нанесення п'єзоелектричних і чутливих шарів для сенсорів різного призначення.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Розроблені системи моніторингу фізичного стану особового складу дозволяють збільшити ефективність та оперативність керування військовими та спеціальними підрозділами, що дає можливість зменшити втрати особового складу і матеріальні витрати на його потенційне лікування та відновлення як під час бойових дій, так і під час тренувань або ліквідації надзвичайних ситуацій. У разі цивільного використання нові сенсори на основі тонкоплівкових п'єзоелектричних резонаторів ОАХ та ПАХ разом з новими алгоритмами оброблення біомедичних сигналів мають нижчі масогабаритні показники та у 1,5 ... 2 рази меншу вартість носимих та стаціонарних систем і пристроїв моніторингу здоров'я для лікувальних закладів, сімейних лікарів, занять спортом та догляду за людьми похилого віку. Тобто це принесе прямий економічний ефект від продажів для виробників продукції та опосередкований за рахунок збільшення розповсюдженості таких пристроїв і відповідного покращення якості та збільшення тривалості життя.

7. Потенційні користувачі.

Основні потенційні споживачі апаратури в Україні – підрозділи Міністерства з надзвичайних ситуацій, МВС, Міністерства інфраструктури, лікувальні заклади МОЗ і комунального підпорядкування. Можливе впровадження розробки в рамках інноваційних проектів наукового парку «Київська політехніка».

Окремі складові частини розробки передбачається використати у спільних розробках з Державним підприємством «Новатор» нового покоління апаратури контролю фізичного стану водіїв рухомого складу Укрзалізниці.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені, виготовлені та випробувані експериментальні зразки сенсорів біопотенціалів, ультрафіолетового випромінювання, прискорення, концентрації кисню у крові та пристрій зондуючого радіочастотного сигналу.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи у вигляді технологічних та технічних рішень впроваджено у виробництво на НВП «СПЕКТР ПЛЮС» (м.Миколаїв). Розроблений сенсор УФ випромінювання на поверхневих акустичних хвилях на основі нанострижнів ZnO відрізняється високою чутливістю (зростає не менше, ніж в 3-4 рази в порівнянні з аналогами), мають хорошу повторюваність (розкид не більше 2-3%) і нижчі показники деградації (на 10-20%).

Науково-технічні результати НДР впроваджені в навчальному процесі при підготовці бакалаврів, магістрів та докторів філософії за спеціальностями 163 «Біомедична інженерія» і 153 «Мікро- та наносистемна техніка» при викладанні дисциплін «Біомедична наноелектроніка», «Електронні сенсори та біочіпи» і «Мікроелектронні інформаційні сенсорні системи».

Захищено 1 докторську дисертацію і 2 дисертації доктора філософії, підготовлені до захисту 1 дисертація доктора наук і 1 дисертація доктора філософії.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

КПІ ім.Ігоря Сікорського, НДІ Електроніки та мікросистемної техніки, Тел.: (044) 204-90-75,
E-mail: office.ae@ukr.net

11. Фото розробки.

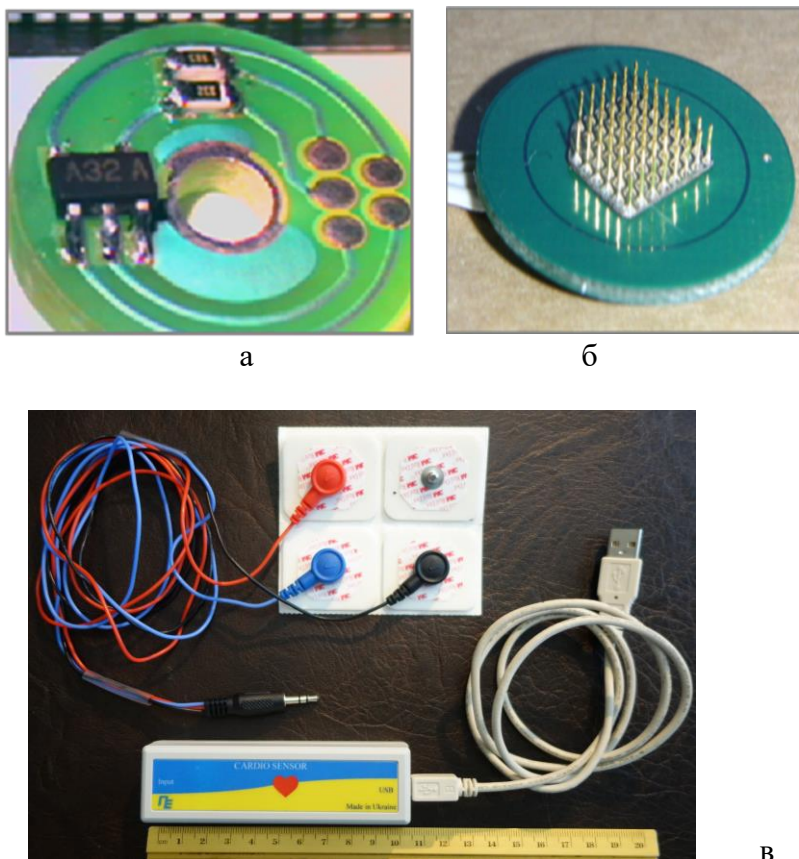
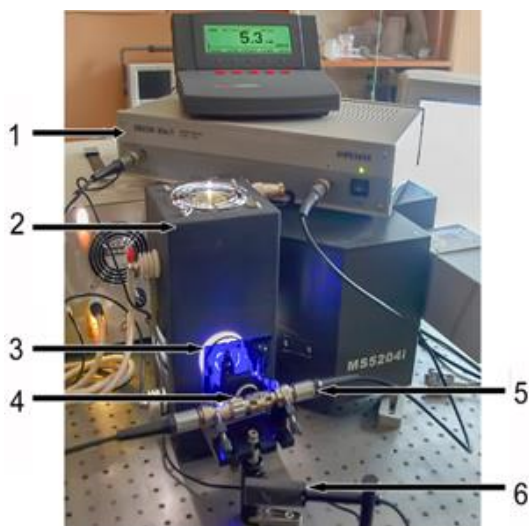


Рис. 1. Сенсор біопотенціалів та емнісний (а), штирьовий (б) та одноразові гелеві Ag/AgCl (в) електроди для зняття ЕКГ



- 1 – векторний аналізатор електричних кіл ОВЗОР-403/1;
- 2 – джерело УФ випромінювання – ксенонова лампа L2479, Hamamatsu;
- 3 – широкосмуговий фільтр – УФС 6 (325 – 375 нм);
- 4 – інтерференційний фільтр (365±3 нм);
- 5 – узгоджувальний ланцюг з контактуючим пристроєм для встановлення сенсора;
- 6 – фотодіодний сенсор PD300 RCHS, ОРНІР.

Рис. 2. Система реєстрації УФ випромінювання на основі сенсорів на ПАХ.

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання.

1. Analysis of free oscillations of round thin plates of variable thickness with a point support / Kirill Trapezon, Alexandr Trapezon, Anatolii Orlov // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* – 2020. – Vol 3, No 7 (105). –pp. 6-12.

2. Design and modeling of band-pass filters on coaxial resonators for the cellular communication systems / T. M. Narytnyk, A. T. Orlov, I. K. Kuzmichev, V. I. Korsun, S. O. Perepelitsyn. // *Telecommunications and Radio Engineering.* – 2020. – Volume 79, Issue 13. – pp. 1121-1127.

3. Дослідження особливостей інфразвукових сенсорів у разі виявлення повітряних об'єктів / Орлов А.Т., Траpezон К.О. // *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 31 (70) Ч.1, №3. 2020. С. 65–70.*

4. Effect of post-deposition treatment on electrical properties of solution-processed a-IGZO Schottky diodes / V. Ulianova, Yu. Didenko, S. Bolat, G. T. Sevilla, D. Tatarchuk, I. Shorubalko, E. Gilshtein, Ya. E. Romanyuk // *AIP Advances.* – 2020. – Vol. 10, Is. 7. – P. 075104-1–075104-7.

5. Using the Uniform and Gaussian Distribution of Frequencies for the Analysis of Broadband Dielectric Relaxation Spectra / Yu. Poplavko, D. Tatarchuk, Yu. Didenko // *Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2020): Proc. of 40th Int. Sci. Conf. (April 22 – 24, 2020, Kyiv, Ukraine).* – Kyiv, 2020. – PP. 47 – 50.

6. Fabrication, Characterization and Simulation of Sputtered Pt/In-Ga-Zn-O Schottky Diodes for Low-Frequency Half-Wave Rectifier Circuits / V. Ulianova, F. Rasheed, S. Bolat, G. T. Sevilla, Yu. Didenko, X. Feng, I. Shorubalko, D. Bachmann, D. Tatarchuk, M. B. Tahoori, J. Aghassi-Hagmann, Ya. E. Romanyuk // *IEEE Access.* – 2020. – Vol. 8. – P. 111783–111790.

7. Influence of rare-earth doping on the structural and dielectric properties of orthoferrite La_{0.50}R_{0.50}FeO₃ ceramics synthesized under high pressure / I. I. Makoed, N. A. Liedienov, A. V. Pashchenko, G. G. Levchenko, >D. D. Tatarchuk<, Y. V. Didenko, A. A. Amirov, G. S. Rimski, K. I. Yanushkevich // *Journal of Alloys and Compounds.* – 2020. – Vol. 842. – A. 155859.

8. A.Voloshyn, I. Golubeva, V. Kazmirenko and Y. Prokopenko, "Frequency Tunable Spherical and Rectangular Dielectric Resonator Antennae with Waveguide Feed," 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 361-365

9. A. Chernov, I. Golubeva, V. Kazmirenko and Y. Prokopenko, "Losses in the Micromechanically Tunable Coplanar Waveguide Based Line," 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 355-360.

10.Комплексная диэлектрическая проницаемость и характеристическое сопротивление перестраиваемой копланарной линии / Артем Чернов, Ирина Голубева, Виктор Казмиренко, Юрий Прокопенко // *Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника.* – 2020. – Т. 63, N 6. - С. 331-342.

11.Magnetic and Dielectric Properties of (1-x)BiFeO₃-xYMnO(3) Multiferroics / Mikhaylov, V. I.; Dovgii, V. T.; Linnik, A. I.; Kravchenko, Z. F.; Kamenev, V. I.; Kulik, N. N.; Bodnaruk, A. V.; Legenkii, Yu. A.; Tatarchuk, D. D.; Davydeiko, N. V.. // *Technical Physics Letters.* 2019.– Том: 45 Выпуск: 4 Стр.: 327-330.

12.Liquid-phase sintered bismuth ferrite multiferroics and their giant dielectric constant / Liedienov N.A., Pashchenko A.V., Turchenko V.A., Sycheva V.Ya., Voznyak A.V., Kladko V.P., Gudimenko A.I., Tatarchuk D.D., Didenko Yu.V., Fesykh I.V., Makoed I.I., Kozakov A.T., Levchenko G.G. // *Ceramics International.* – 2019. – V. 45, No. 12. – P. 14873 – 14879.

13.Structure, Non-stoichiometry, Valence of Ions, Dielectric and Magnetic Properties of Single-Phase Bi_{0.9}La_{0.1}FeO_{3-δ} Multiferroics / A. V. Pashchenko, N. A. Liedienov, Quanjun Li, D. D. Tatarchuk, V. A. Turchenko, I. I. Makoed, V. Ya. Sycheva, A. V. Voznyak, V. P. Kladko, A. I. Gudimenko, Y. V. Didenko, A. T. Kozakov, G. G. Levchenko // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* – 2019. – Vol. 483. – P. 100–113.

14.Modification of multifunctional properties of the magnetoresistive $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.15}\text{Bi}_{0.15}\text{Mn}_{1.1-x}\text{BxO}_{3-\delta}$ ceramics when replacing manganese with 3d-ions of Cr, Fe, Co, Ni / A. V. Pashchenko, N. A. Liedienov, V. P. Pashchenko, V. K. Prokopenko, V. V. Burhovetskii, A. V. Voznyak, I. V. Fesych, D. D. Tatarchuk, Y. V. Didenko, A. I. Gudymenko, V. P. Kladko, A. A. Amirov, G. G. Levchenko // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – Vol. 767. – P. 1117–1125.

15.Fano resonance and metamaterial cells equivalent circuits./ A.P. Zhivkov, K.O.Shevtsov, R.V. Kamarali, A.T.Orlov // 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) September 9-13, 2019, Odessa, Ukraine, pp. 1-4

13. Ключові слова:

Бездротова сенсорна система, пасивний МЕМС сенсор, МЕМС резонатор, наноструктурований п'єзоелектричний шар, система фізіологічного моніторингу.