

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний технологічний університет

На правах рукопису

ХОМЕНКО ЖАННА МИКОЛАЇВНА

УДК 616.71

МЕТОД І БІОМЕДИЧНИЙ ЗАСІБ МОНІТОРИНГУ ЧАСТОТИ
ДИХАННЯ ТА СЕРЦЕБИТТЯ ЛЮДИНИ

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:

Манойлов В'ячеслав Пилипович
доктор технічних наук, професор

Житомир – 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ БІОРАДІОЛОКАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ	12
1.1 Аналіз засобів визначення параметрів дихальної системи людини	14
1.2 Біомеханіка дихання та серцебиття людини	17
1.3 Вибір та обґрунтування інструментальних засобів і методів біорадіолокаційного моніторингу (БРЛМ)	19
1.4 Аналіз взаємодії електромагнітного випромінювання (ЕМВ) з біологічними об'єктами (БО)	21
1.4.1 Діелектричні властивості біологічних тканин	22
1.4.2 Відбиття ЕМХ від границі розділу двох середовищ	30
1.4.3 Відбиття ЕМХ від шаруватої структури	33
1.5 Вибір типу та параметрів випромінювача (порівняльний аналіз існуючих випромінювачів)	35
1.6 Обґрунтування мети досліджень	39
Висновки до розділу 1	41
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ І МЕТОДУ БІОРАДІОЛОКАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ І ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ (СС І ДС) ЛЮДИНИ	42
2.1 Оцінювання впливу випромінювання на рівень корисного сигналу при визначенні параметрів дихання та серцебиття	42
2.2 Математична модель взаємодії ЕМХ з біологічним об'єктом	46
2.3 Удосконалення методу біорадіолокаційного моніторингу стану СС і дихальної системи людини	50
2.3.1 Особливості руху спостережуваного об'єкта	50
2.3.2 Відновлення траєкторії руху об'єкта з використанням двох квадратур	55

Висновки до розділу 2	60
РОЗДІЛ 3 БІОМЕДИЧНИЙ ЗАСІБ МОНІТОРІНГУ СТАНУ СС І ДС ЛЮДИНИ	61
3.1 Особливості конструктивної побудови засобу БРЛМ	62
3.1.1 Принцип побудови біомедичного засобу	63
3.1.2 Вимоги до передавальної частини біомедичного засобу	65
3.1.3 Вимоги до приймальної частини біомедичного засобу	68
3.1.4 Розрахунок ЩПЕ конічної рупорної антени	68
3.1.5 Конструктивна реалізація засобу БРЛМ	72
3.2 Алгоритмічно-програмне забезпечення засобу БРЛМ	81
3.2.1 Алгоритм розділу параметрів дихання та серцебиття за допомогою ФВЧ Бесселя	86
3.2.2 Алгоритм смугової фільтрації сигналів	89
Висновки до розділу 3	100
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕДИЧНОГО ЗАСОБУ МОНІТОРІНГУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ І ДИХАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ	102
4.1 Аналіз достовірності роботи розробленого біомедичного засобу при проведенні синхронних досліджень	102
4.1.1 Порівняння даних біомедичного засобу та електрокардіографа	102
4.1.2 Дослідження можливості реєстрації дихання протягом сну	106
4.1.3 Порівняння даних біомедичного засобу та пневмографа	108
4.1.4 Оцінювання вірогідності алгоритмів поділу сигналів дихання та серцебиття	113
4.2 Методика проведення досліджень по оцінці стану СС і ДС людини	121
4.2.1 Дистанційна оцінка фізіологічного стану людини	125
Висновки до розділу 4	126
ВИСНОВКИ	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	129

ДОДАТКИ	143
ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	144
ДОДАТОК Б ДІЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИКНІСТЬ ДЕЯКИХ ВИДІВ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН	147
ДОДАТОК В ПОРІВНЯЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БІОРАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ	148
ДОДАТОК Г ПРОГРАМА РОЗРАХУНКУ СКЛАДОВИХ ДИХАННЯ ТА СЕРЦЕБИТТЯ	149
ДОДАТОК Д РЕЄСТРАЦІЯ ЧСС ЗА ДОПОМОГОЮ РІЗНИХ МЕТОДІВ	154

ВСТУП

Радіолокація біологічних об'єктів є напрямком радіотехніки, що інтенсивно розвивається. На відміну від класичних областей застосування радіолокації, у яких, як правило, об'єктами зондування є нежива природа або штучно створені предмети, локація біологічних об'єктів має цілий ряд особливостей, що дозволяє виділити її в окрему область знань – біорадіолокацію.

До особливостей біорадіолокації відноситься використання апаратури, як правило, незначної дальності дії (від декількох сантиметрів до десятків метрів) зі знизеним рівнем випромінювання, що не спричиняє шкідливого впливу на організм людини. Крім цього характеристики самих об'єктів зондування в частині їх електрофізичних властивостей, а також частот та амплітуд коливань органів людини носять досить специфічний характер і для правильної інтерпретації результатів вимірів вимагають залучення дослідників біоінженерних спеціальностей.

Використання радіолокаторів для дистанційного визначення параметрів дихання та серцебиття людини може знайти застосування при аналізі ритму серця при переході на іншу частоту (аритмія), що може бути використано у попередженні синдрому раптової смерті у новонароджених дітей, рятувальних операціях, антитерористичній боротьбі, медицині та інших галузях.

Актуальність теми. Сучасна клінічна медицина використовує для моніторингу дихальної та серцево-судинної системи різноманітні складні електронні пристрої: ультразвукові сканери, томографи. Ці пристрої, хоча й дають високоякісну картинку на екрані моніторів, але в експлуатації є складними та коштовними. Тому дослідники та практикуючі медичні працівники шукають більш прості та компактні пристрої. Одним з напрямків вдосконалювання методів є створення малогабаритного біомедичного засобу моніторингу основних параметрів організму – дихання та кровообігу людини.

Існуючі безконтактні давачі (ємнісні, оптичні) за своїми характеристиками непридатні для контролю вищезначених параметрів.

У зв'язку з вищевикладеним, **актуальною задачею** є розробка безконтактного біомедичного засобу моніторингу основних параметрів організму – дихання та скорочень серцевих м'язів, в тих областях медицини, що обумовлені обмеженням рухливості об'єкта дослідження.

Низкою дослідників експериментально доказана можливість використання радіолокаторів для моніторингу дихання та серцебиття [1-5].

Однак медичне використання біорадарів на даний час відсутнє, що пов'язане з недосконалістю методик застосування та проектування біорадіолокаційної апаратури. Таким чином, на сьогодні недостатньо досліджена та обґрунтована розробка ефективних засобів безконтактного дистанційного моніторингу дихання та серцебиття біологічного об'єкта, що є **актуальним завданням** медичного приладобудування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота виконувалась згідно напрямків наукової діяльності Житомирського державного технологічного університету в рамках дослідницької та науково-методичної роботи кафедри радіотехніки, радіоелектронних апаратів та телекомунікацій.

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження* є підвищення достовірності результатів спостереження за хворими під час лікування шляхом створення методу і впровадження біомедичного засобу безконтактного моніторингу частоти дихання та серцебиття, як інформативних параметрів при проведенні синхронних досліджень.

Для досягнення вказаної мети були поставлені та вирішені наступні *основні задачі*:

- обґрунтувати вибір інструментальних засобів і методів біорадіолокаційного моніторингу;

- провести аналіз визначення коефіцієнту відбиття від тіла людини, з метою виявлення оптимальних значень частоти та інтенсивності зондувального сигналу;
- розробити засіб біорадіолокаційного моніторингу для визначення частоти дихання та серцебиття;
- розробити алгоритм розрізнення частоти дихання та серцебиття з отриманого біометричного сигналу;
- розробити методику проведення досліджень по оцінці стану серцево-судинної і дихальної систем людини.

Об'єкт дослідження: процес взаємодії електромагнітних полів радіочастотного діапазону з організмом людини.

Предмет дослідження: методи аналізу отриманого біометричного сигналу та засіб біорадіолокаційного моніторингу.

Методи дослідження. Під час дисертаційного дослідження для побудови математичної моделі процесу відбиття зондувального сигналу був представлений метод визначення коефіцієнту відбиття НВЧ сигналів від грудної клітини людини, що представлена у вигляді тришарової шаруватої структури, та використане рівняння Коул-Коула, що найбільш точно описує діелектричні властивості біологічних тканин у широкому діапазоні частот. Це дозволило визначити діапазон частот зондувального сигналу, при якому спостерігалось найменше його поглинання шаруватою структурою поверхневих тканин людини.

Використаний фазовий метод двох квадратур для визначення малих переміщень грудної клітини.

В подальших дослідженнях був використаний метод віконних функції для виконання фільтрації відбитого від грудної клітини біометричного сигналу з метою виділення з нього складових дихання та серцебиття.

Також були використані статистичні методи обробки результатів експериментальних досліджень та наукових випробувань.

Наукова новизна одержаних результатів:

- удосконалено метод біорадіолокаційного моніторингу, який на відміну від відомих використовує дві складові фази відбитого біометричного сигналу, зсунутих одна відносно одної, що дозволило отримувати дійсну траєкторію руху грудної клітини людини для подальшого визначення складових дихання та серцебиття;
- вперше отримано залежність фази розсіяного поля від частоти для електродинамічної моделі, яка має нелінійний характер, в той час як для моделі точкового розсіювача вказана залежність носить лінійний характер, що обумовлено відсутністю врахування форми об'єкта, частотної дисперсії діелектричних властивостей поверхні моделі, та як наслідок, коефіцієнта відбиття;
- удосконалено модель взаємодії ЕМП з біологічним об'єктом шляхом застосування тришарової моделі шаруватої структури грудної клітини людини, за допомогою якої отримано математичні вирази для визначення коефіцієнтів відбиття шарів структури;
- вперше отримано, що в діапазоні частот 8,5-12 ГГц діелектрична проникність тканин практично не залежать від частоти зондувального сигналу, при якому поглинання зондувального сигналу є найменшим, а коефіцієнт відбиття є найбільшим, що дало змогу створити біомедичний засіб моніторингу частоти дихання та серцебиття людини.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

- проведено розрахунок коефіцієнту відбиття зондувального сигналу від поверхні тіла людини, з метою виявлення оптимальних значень частоти та інтенсивності зондувального сигналу;
- розроблено алгоритм поділу складових дихання та серцебиття з отриманого біометричного сигналу;
- розроблено біомедичний засіб моніторингу для визначення частоти дихання та серцебиття;

- розроблено методику проведення досліджень по оцінці стану серцево-судинної і дихальної систем людини;
- проведено експериментальні дослідження групи піддослідних за допомогою біомедичного засобу моніторингу частоти дихання та серцебиття людини, за результатами яких, достовірність проведеного дослідження становила 0,966.

Результати роботи впроваджено у ДП «Науково-дослідний інститут радіосистем» (м. Житомир). Достовірність отриманих результатів підтверджує високий ступінь збігу результатів, що були отримані за допомогою розробленого біомедичного засобу, з експериментальними даними при контактних тестових випробуваннях (акт від 20.02.2015).

Методики та результати, отримані в роботі, також впроваджені у навчальний процес кафедри радіотехніки, радіоелектронних апаратів та телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету, що сприяло підвищенню якості викладання дисципліни «Апаратура біомедичних досліджень» (акт від 15.04.2015).

Відповідні акти представлені у додатку А.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є узагальненням результатів теоретичних та практичних досліджень, проведених автором самостійно. Усі основні положення і результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримано здобувачем особисто. Їх основний зміст опубліковано в наукових працях [6-17]. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать такі результати: методика та схемна реалізація радару, що дозволяють виділити з отриманого біометричного сигналу необхідні для подальшого аналізу складові дихання та серцебиття [10]; аналіз поведінки шаруватих структур поверхневих тканих під впливом зондувальних сигналів широкого діапазону частот на основі розроблених математичних моделей [12]; аналіз складу відбитого від грудної клітини людини біометричного сигналу та методи його цифрової обробки при різному взаємному розташуванні складових дихання та серцебиття [13, 16]; загальний алгоритм обробки біометричного

сигналу з метою виділення складових дихання та серцебиття з їх подальшим аналізом [14, 17].

На основі проведених досліджень та отриманих методик було створено макет біомедичного засобу.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідались на Міжвузівській науково-практичній конференції, присвяченій Дню науки (Житомир, ЖДТУ, 17-18 травня, 2012 р.); XI Міжнародній науково-технічній конференції «Вимірювальна та 7 обчислювальна техніка в технологічних процесах» (Хмельницький, ХНУ, 5-8 червня, 2012 р.); 22-й Міжнародній Кримській конференції «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2012) (Севастополь, АР Крим, 10-14 вересня 2012 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки» (Чернівці, 25-27 жовтня 2012 р.); Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченій Дню науки (Житомир, ЖДТУ, 15-17 травня, 2013 р.); VIII Міжнародному симпозиумі «Актуальні проблеми біофізичної медицини» (Київ, Інститут фізіології ім. А.А. Богомольця, 14-17 травня 2014 р.); 24-й Міжнародній Кримській конференції «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2014) (Севастополь, АР Крим, 7-13 вересня 2014 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з них 5 – у фахових виданнях, 1 з яких входить до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International, 7 – у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація включає вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, додатки. Обсяг дисертації, в якому викладено її основний зміст, становить 116 сторінок. Загальний обсяг дисертації становить 155 сторінок. Робота містить 63 рисунки, 10 таблиць, 5 додатків, список використаних джерел налічує 114 найменувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bugaev A.S. Mathematical simulation of remote detection of human breathing and heartbeat by multifrequency radar on the background of local objects reflections / A.S. Bugaev, V.V. Chapursky, S.I. Ivashov // 2005 IEEE International Radar Conference, Arlington, Virginia, USA. – 2005. – pp. 359-364. – doi:10.1109/RADAR.2005.1435851. – ISBN 0-7803-8881-X.
2. Ivashov S.I. Detection of human breathing and heartbeat by remote radar / S.I. Ivashov, V.V. Razevig, A.P. Sheyko, I.A. Vasilyev // Progress in Electro-magnetics Research Symposium (PIERS 2004), 28-31, March, 2004, Pisa, Italy. – 2004. – pp. 663-666. – ISSN 1070-4698.
3. Bugaev A.S. Through wall sensing of human breathing and heart beating by monochromatic radar / A.S. Bugaev, V.V. Chapursky, S.I. Ivashov // Proceedings of the Tenth International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR'2004), 21-24, June, 2003, Delft, The Netherlands. – 2004. – Vol. 1. – pp. 291-294. – ISBN 90-9017959-3.
4. Бугаев А.С. Дистанционный контроль параметров кардиореспираторной системы человека с помощью радиолокационных средств / А.С. Бугаев, И.А. Васильев, С.И. Ивашов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – № 10. – С. 24-31. – ISSN 1560-4136.
5. Бугаев А.С. Обнаружение и дистанционная диагностика людей за препятствиями с помощью РЛС / А.С. Бугаев, И.А. Васильев, С.И. Ивашов // Радиотехника. – 2003. – № 7. – С. 42-47. – ISSN 0033-8486.
6. Хоменко Ж.М. Особливості радіолокаційного виявлення цілей, що роблять зворотно-поступальний рух / Ж.М. Хоменко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки. – 2011. – № 2 (57). – С. 114-119. – ISSN 1728-4260.
7. Хоменко Ж.М. Методи вимірювання траєкторії об'єктів, що роблять зворотно-поступальний рух / Ж.М. Хоменко // Міжвузівська

науково-практична конференція, присвячена Дню науки: тези доповідей, м. Житомир, 17-18 травня 2012 р. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – Т. 1. – С. 124-125. – ISBN 978-96-683-337-5.

8. Хоменко Ж.М. Методи вимірювання траєкторії руху об'єкта у процесі побудови медичних радарів / Ж.М. Хоменко // Метрологія та прилади. – Харків: Фавор, 2011. – №6. – С. 56-59. – ISSN 2307-2180.

9. Хоменко Ж.М. Методи визначення траєкторії руху цілі при побудові медичних радарів / Ж.М. Хоменко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 6/11 (60). – С. 56-59. – ISSN 1729-3774.

10. Хоменко Ж.М. Методы определения целей, совершающих возвратно-поступательное движение, при построении медицинских радаров / В.Ф. Манойлов, Ж.Н. Хоменко, Н.Ф. Хоменко // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: материалы 22-й Международной Крымской конференции (КрыМиКо'2012), г. Севастополь, 10-14 сентября 2012 г. – Севастополь: Вебер, 2012. – Т. 2. – С. 991-992. – ISBN 978-966-335-370-8.

11. Хоменко Ж.М. Методи визначення цілей при побудові медичних радарів / Ж.М. Хоменко // Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки: матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернівці, 25-27 жовтня 2012 р. – Чернівці: ТОВ «Видавництво «Наші книги», 2012. – С. 57-58.

12. Хоменко Ж.М. Характеристики відбиття поверхневих тканин організму людини при опроміненні хвилями НВЧ діапазону / Ж.М. Хоменко, Д.Х. Штофель, Д.О. Попіль // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 3. – С. 110-116. – ISSN 2219-9365.

13. Хоменко Ж.М. Дистанційна діагностика стану людини з використанням засобів цифрової обробки сигналів / Ж.М. Хоменко, С.М. Злепко, С.В. Тимчик // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 2. – С. 128-135. – ISSN 2219-9365.

- 14.Хоменко Ж.М. Дистанційна діагностика стану людини з використанням засобів цифрової обробки сигналів / Ж.М. Хоменко, С.М. Злепко, С.В. Тимчик // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції, м. Хмельницький, 5-8 червня 2012 р. – Хмельницький: ХНУ, 2012. – С. 41-42.
- 15.Хоменко Ж.М. Дистанційна діагностика людини з використанням засобів цифрової обробки сигналів / Ж.М. Хоменко // Всеукраїнська науково-практична on-line конференція аспірантів, молодих учених та студентів, присвячена Дню науки: тези доповідей, м. Житомир, 15-17 травня 2013 р. – Житомир: ЖДТУ, 2013. – Т. 1. – С. 207-208. – ISBN 978-966-683-378-8.
- 16.Хоменко Ж.М., Хоменко М.Ф. Дистанційна діагностика людини з використанням засобів цифрової обробки сигналів / Ж.М. Хоменко, М.Ф. Хоменко // Актуальные проблемы биофизической медицины: материалы VIII международного симпозиума, г. Киев, 14-17 мая 2014 г. – Киев: ГП «Информационно-аналитическое агенство», 2014. – С. 121-122.
- 17.Хоменко Ж.Н. Обработка биометрического сигнала при радиолокационной дистанционной диагностике сердечно-дыхательной активности человека / В.Ф. Манойлов, Ж.Н. Хоменко, Н.Ф. Хоменко // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: материалы 24-й Международной Крымской конференции (КрыМиКо'2014), г. Севастополь, 7-13 сентября 2014 г. – Севастополь: Вебер, 2014. – Т. 2. – С. 1049-1051. – ISBN 978-966-335-412-5.
- 18.Федотов А.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. – М.: Радио и связь, 2013. – 250 с. – ISBN 978-5-89776-016-9.
- 19.Олейник В.П. Аппаратные методы исследований в биологии и медицине / В.П. Олейник, С.Н. Кулиш. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2004. – 110 с.

- 20.Шурыгин И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. – М.: Издательство БИНОМ, 2000. – 301 с. – ISBN 5-7989-0163-7.
- 21.Калакутский Л.И. Аппаратура и методы клинического мониторинга / Л.И. Калакутский, Э.С. Маннелис. – М.: Высш.шк., 2004. – 156 с. – ISBN 5-7883-0062-2.
- 22.Biomedical technology and devises. Handbook / Ed. by J. Moore, G. Zouridakis. – Boca Raton: CRC Press, 2004. – 750 P. – ISBN 0-8493-1140-3.
- 23.Kazamias T.M. Detection of left-ventricular-wall motion disorders in coronary-artery disease by radarkymography / T.M. Kazamias, M.P. Gander, J.Jr. Ross, E. Braunwald // New England Journal of Medicine. – 1971. – Vol. 285. – #2. – pp. 63-71. – doi:10.1056/NEJM197107082850201.
- 24.Susskind C. Possible Use of Microwaves in Management of Lung Disease // Proceedings of the IEEE. – 1973. – Vol. 61. – #5. – pp. 673-674. – doi:10.1109/PROC.1973.9132. – ISSN 0018-9219.
- 25.А.с. 2162235 РФ,. Способ и устройство для обнаружения живых организмов / Г.Ю. Шмидт. – заявл. 20.01.95; опубл. 20.01.01.
- 26.А.с. 2258455 РФ. Способ мониторинга функционального состояния человека / В.А. Годунов, Д.А. Третьяков, Б.Б. Некрасов, А.В. Бандурин. – заявл. 05.11.03; опубл. 20.08.05, Бюлл.№23.
- 27.А.с. 2071718 РФ. Способ оценки психофизиологического состояния пациента и устройство для доплеровской локации / В.А. Федоров. – заявл. 18.02.94; опубл. 20.01.97.
- 28.А.с. 2258942 РФ. Способ стабилизации временного положения сверхширокополосного сигнала и локатор для мониторинга живых объектов, реализующий этот способ / А.В. Андриянов, Г.С. Икрамов, С.В. Курамшев. – заявл.28.09.04; опубл.20.08.05, Бюлл.№23.
- 29.А.с. 2260816 РФ. Способ обнаружения живых объектов и устройство для его осуществления / В.А. Заренков, Д.В. Заренков, В.И. Дикарев, Б.В. Койнаш. – заявл.25.09.03; опубл.20.04.05, Бюлл.№26.

- 30.А.с. 2141119 РФ. Способ обнаружения живых объектов и устройство для его осуществления / М.Л. Легошин. – заявл. 23.03.98; опубл.10.11.99.
- 31.А.с. 2313108 РФ. Способ обнаружения живых объектов и устройство для его осуществления / В.А. Заренков, Д.В. Заренков, В.И. Дикарев, Б.В. Койнаш. – заявл.31.01.06; опубл.20.12.07, Бюлл.№35.
- 32.А.с. 2076336 РФ. Способ обнаружения живых объектов и устройство для его осуществления / П.И. Андриянец, В.В. Малышев, Б.П. Бурдуков, А.И. Ненашев, А.Н. Вошин. – заявл.19.10.94; опубл.27.03.97.
- 33.А.с. 2000080 РФ. Способ регистрации артериального пульса и частоты дыхания и устройство для доплеровской локации / В.А. Федоров, Л.А. Крохин. – заявл.09.01.92; опубл.07.09.93.
- 34.І.е. 2008007715 US. Determining presence and/or physiological motion of one or more subjects with multiple receiver doppler radar system / Boric-Lubecke, A. Host-Madsen, V. Lubecke. – appl.14.05.07; pub. 27.05.08.
- 35.І.е. 20080027331 US. Apparatus for and method of biotic sleep state determining / T. Suzuki, K. Kameyama, K. Ouchi. – appl.02.10.07; pub.31.01.08.
- 36.І.е. 6061014 US. Surveillance method for wide areas / J. Rautanen, J. Korja. – appl.10.01.97; pub.09.05.00.
- 37.І.е. 5448501 US. Electronic life detection system / D.V. Hablov, O.I. Fusin, L.N. Lupichev, V.V. Osipov, V.A. Schestiperov, R. Schimko. – appl.03.12.9; pub.05.09.95.
- 38.І.е. 4556883 US. Transmitting and receiving circuit for an apparatus for the automatic identification of objects and/or living organisms / R. Strietzel. – appl.20.12.82; pub.03.12.85.
- 39.І.е. 2007010460 WO. Apparatus for detection of heart activity / J.A. Thijs, R.B. Elfring, T.J. Muehls, O. Such. – appl. 14.07.06; pub.25.01.07.
- 40.І.е. 2006087421 WO. Method and arrangement for detecting moving objects with a radar / M.S. Lehtinen. – appl.21.02.05; pub.24.08.06.

41. Staderini E.M. UWB radars in medicine // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 2002. Vol. 17. — #1. – pp. 13-18. – doi:10.1109/62.978359. – ISSN 0885-8985.
42. Barret T.D. History of Ultra wideband communications and radar: part II, UWB radars and sensors // Microwave Journal. – 2001. – pp. 22-46. – ISSN 1527-3342.
43. A feasibility study on aortic pressure estimation using uwb radar / L.E. Solberg, I. Balasingham, S.E. Hamran, E. Fosse // IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB 2009), Vancouver BC, Canada. – 2009. – pp. 464-468. – doi:10.1109/ICUWB.2009.5288761. – ISBN 978-1-4244-2930-1.
44. Zito F. UWB 3.1-10.6 GHz CMOS transmitter for system-on-a-chip nano-power pulse radars / F. Zito, D. Zito, D. Pepe // Proceedings of Research in Microelectronics and Electronics Conference (PRIME 2007), Bordeaux, France. – 2007. – pp. 189-192. – doi:10.1109/RME.2007.4401844. – ISBN 978-1-4244-1000-2.
45. Immoreev I. Practical application of ultra-wideband radars // Proceedings of Third International Conference on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, Sevastopol, Ukraine. – 2006. – pp. 44-49. – doi:10.1109/UWBUS.2006.307156. – ISBN 1-4244-0513-0.
46. Muehlsteff J. The use of a two channel Doppler radar sensor for the characterization of heart motion phases / J. Muehlsteff, J.A.J. Thijs, R. Pinter // Engineering in Medicine and Biology Society: proceedings of 28th Annual International Conference of the IEEE (EMBS '06), New-York, USA. – 2006. – pp. 547-550. – doi:10.1109/IEMBS.2006.260170. – ISBN 1-4244-0032-5.
47. Thiel F. Non-contact detection of myocardium's mechanical activity by ultrawideband RF-radar and interpretation applying electrocardiography / F. Thiel, D. Kreiseler, F. Seifert / The Review of scientific instruments, Melville, NY: American Institute of Physics. – 2009. – 80 (11). – 12 P. – doi:10.1063/1.3238506. – ISSN 0034-6748.

- 48.Самойлов Л.Ю. Медицинская биофизика. Л.: Изд-во Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. – 1988. – 297 с.
- 49.Foster K.R. Dielectric Properties of Tissues / Second ed. by J.D. Bronzino // The Biomedical Engineering Handbook. – CRC Press, Springer, IEEE Press, 1999. – pp. 89-1–89-11. – ISBN 978-0-8493-8594-0.
- 50.Foster K.R., Schwan H.P. Dielectric properties of tissues and biological materials: a critical review / Ed. by J.R. Bourne // Critical Reviews in Biomedical Engineering. – CRC Press, 1989. – Vol. 17. – # 1 – pp. 25–104. – ISSN 0278-940X.
- 51.Федоров В.А. Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека / В.А. Федоров; под ред. С.М. Смольского. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 128 с. – ISBN 978-5-383-00289-6.
- 52.Takens F. Detecting Strange Attractors in Turbulence / Ed. by D. Rand, L.S. Young // Dynamical Systems and Turbulence. – Springer, Berlin, 1981. – Vol. 898. – pp. 366-381. – ISBN 978-3-540-11171-9.
- 53.Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу. Ритмы жизни. – М.: Мир, 1991. – ISBN: 5-03-001834-4.
- 54.Gabriel C. Compilation of the dielectric properties of body tissues at rf and microwave frequencies / Radiofrequency Radiation Division, Brooks AFB, San Antonio, USA. – 1996. – 21 P.
- 55.Gabriel C. The dielectric properties of biological tissues: I. literature survey / C. Gabriel, S. Gabriel, E. Corthout // Physics in Medicine and Biology. – 1996. – Vol. 41. – # 11. – pp. 2231-2249. – ISSN:0031-9155.
- 56.Gabriel S. The dielectric properties of biological tissues: II. measurements on the frequency range 10 Hz to 20 GHz / S. Gabriel, R.W. Lau, C. Gabriel // Physics in Medicine and Biology. – 1996. – Vol. 41. – # 11. – pp. 2251-2269. – ISSN 0031-9155.
- 57.Taoufik E. New Radar System in Medicine / E. Taoufik, S. Nabila, B. Ridha // Proceedings of 18th European Signal Processing Conference (EUSIPCO-2010), Aalborg, Denmark, 2010. – p. 1640-1644. – ISSN 2076-1465.

58. Taoufik E. The reflection of electromagnetic field by body tissue in the UWB frequency range / E. Taoufik, S. Nabila, B. Ridha // International Radar Conference: proceedings of IEEE, Washington DC, 2010. – pp. 1403-1407. – doi:10.1109/RADAR.2010.5494398. – ISBN 978-1-4244-5811-0.
59. Roberts J.E., Cook H.F. Microwave in medical and biological research / J.E. Roberts, H.F. Cook // British Journal of Applied Physics. – 1952. – Vol. 3. – #2 – pp. 33-40. – doi:10.1088/0508-3443/3/2/301. – ISSN 0508-3443.
60. Schwan H.P., Piersol G.M. The absorption of electromagnetic energy in body tissues and a review and critical analysis. Part I / H.P. Schwan, G.M. Piersol // American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation. – 1954. – Vol. 33. – #6. – pp. 371-404. – ISSN 0894-9115.
61. Schwan H.P. Electrical properties of tissues and cell suspensions / H.P. Schwan // Advances in Biological and Medical Physics. – 1957. – #5. – pp. 147-209. – doi:10.1016/B978-1-4832-3111-2.50008-0. – ISBN 978-0-12-005217-2.
62. Schwan H.P., Li K. Capacity and conductivity of body tissues at ultra-high frequencies / H.P. Schwan, K. Li // Proceedings of the IRE. – 1953. – Vol. 41. – #12. – pp. 1735-1740. – doi:10.1109/JRPROC.1953.274358. – ISSN 0096-8390.
63. Cook H.F. The dielectric behavior of some types of human tissues at microwave frequencies / H.F. Cook // British Journal of Applied Physics. – 1951. – Vol. 2. – #10. – pp. 295-299. – ISSN 0508-3443.
64. England T.S., Sharpless N.A. Dielectric properties of the human body in the microwave region of the spectrum / T.S. England, N.A. Sharpless // Nature. – 1949. – #163. – pp. 487-488. – doi:10.1038/163487b0.
65. England T.S. Dielectric properties of the human body for wave-lengths in the 1–10 cm. range / T.S. England // Nature. – 1950. – #166. – pp. 480-481. – doi:10.1038/166480b0.
66. Herrick J.F. Dielectric properties of tissues important in microwave diathermy / J.F. Herrick, D.G. Jelatis, G.M. Lee // Proceedings of Federation of American Societies for Experimental Biology. – 1950. – #9. – pp. 60-61. – ISSN 0892-6638.

67. Cook H.F. A comparison of dielectric behavior of pure water and human blood at microwave frequencies / H.F. Cook // *British Journal of Applied Physics*. – 1952. – Vol. 3. – #8. – pp. 249-255. – ISSN: 0508-3443.
68. Schwan H.P. Electrical properties of body tissues and impedance plethysmography / H.P. Schwan // *IRE Transactions on Medical Electronics*. – 1955. – Vol. PGME-3. – pp. 32-46. – doi:10.1109/IRET-ME.1955.5008535. – ISSN 0097-1049.
69. Jackson W.D. Measurement technique and terminology. The representation of dielectric properties and the principles underlying their measurement at centimetre wavelengths / W.D. Jackson // *Transactions of the Faraday Society*. – 1946. – Vol. 42. – pp. A091-A101. – doi:10.1039/TF946420A091. – ISSN 0014-7672.
70. Rajewsky B. / B. Rajewsky, A. Redhardt // *Archiv der elektrischen Übertragung*. – 1957. – #11. – pp 163-170. – ISSN 0374-2393.
71. Schwan H.P., Li K. Measurements of materials with high dielectric constant and conductivity at ultrahigh frequencies / H.P. Schwan, K. Li // *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, Part I: Communication and Electronics*. – 1955. – Vol. 73. – #6. – pp. 603-607. – doi:10.1109/TCE.1955.6372208. – ISSN 0097-2452.
72. Schwan H.P., Li K. Measurements of materials at ultrahigh frequencies / H.P. Schwan, K. Li // *Electrical Engineering*. – 1955. – Vol. 74. – #1. – pp. 64. – doi:10.1109/EE.1955.6439741. – ISSN 0095-9197.
73. Schwan H.P. Eine Messung von elektrischen materialkonstanten und komplexen widerständen vor allem biologischer substanzen / H.P. Schwan // *Zeitschrift Fur Naturforschung*. – 1953. – #8 (1). – pp. 3-10. – doi:10.1515/znb-1953-0103.
74. Cook H.F. Dielectric behaviour of human blood at microwave frequencies / H.F. Cook // *Nature*. – 1951. – Vol. 168. – pp. 247-248. – doi:10.1038/168247a0.
75. Schwan H.P. Electrical properties of blood at ultrahigh frequencies / H.P. Schwan // *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*. – 1953. – Vol. 32. – #3. – pp. 144-152. – ISSN 0894-9115.

76. Gabriel C., Gabriel S. Compilation of the dielectric properties of body tissues at microwave frequencies [Электронный ресурс] / Final Report for the Period 15 December 1994 – 14 December 1995. – Режим доступа: <http://niremf.ifac.cnr.it/docs/DIELECTRIC/Report.html>.
77. Gang Kang, Gandh O.P. Effect of dielectric properties on the peak 1- and 10-g SAR for 802.11 a/b/g frequencies 2.45 and 5.15 to 5.85 GHz / Kang Gang, O.P.Gandh // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2004. – Vol. 46. – # 2. – pp. 268-274. – doi:10.1109/TEMC.2004.826875. – ISSN 0018-9375.
78. Биорадиолокация / под. ред. А.С. Бугаева, С.И. Ивашова, И.Я. Иммореева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 396 с. – ISBN 978-5-7038-3381-0.
79. Краснов А.А. Моделирование физических явлений на ЭВМ: Методическое пособие. Часть VI. Прохождение света через границу раздела сред и интерференционные явления в многослойных структурах / А.А. Краснов, О.А. Макаров, Н.А. Мезенцев, В.Ф. Пиндюрин. – Новосибирский государственный университет, 2000. – 55 с.
80. Пресман А.С. Методы экспериментального облучения животных сантиметровыми волнами / А.С. Пресман // Биофизика. – 1958. – №3. – С. 354–367.
81. Fleming J.D. Microwave radiation in relation to biological systems and neural activity / J.D. Fleming, L.R. Pinneo, R. Baus, R.D. McAfee // Biological Effects of Microwave Radiation: proceedings of 4th Annual Tri-Service Conference, New York: Plenum Press, 1961. – pp. 229-249. – ISBN 978-1-4899-5629-3.
82. Пресман А.С. Действие микроволн на живые организмы и биологические структуры / А.С. Пресман // Успехи физических наук. – 1965. – Том 86. – С. 263-302. – doi:10.3367/UFNr.0086.196506с.0263.
83. Schwan H.P., Li K. The mechanism of absorption of ultrahigh frequency electromagnetic energy in tissues, as related to the problem of tolerance dosage /

- H.P. Schwan, K. Li // IRE Transaction on Medical Electronics. – 1956. – pp. 45-49. – doi:10.1109/IRET-ME.1956.5008561. – ISSN 0097-1049.
- 84.Schwan H.P, Li K. Hazards due to total body irradiation by radar / H.P. Schwan, K. Li // Proceedings of the IRE. – 1956. – Vol. 44. – #11. – pp. 1572-1581. – doi:10.1109/JRPROC.1956.274876. – ISSN 0096-8390.
- 85.Schwan H.P., Li K. Variations between measured and biologically effective microwave diathermy dosage / H.P. Schwan, K. Li // Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. – 1955. – #36(3). – pp. 363-370. – ISSN 1532-821X.
- 86.Taoufik E. The Ultra wide band radar system parameters in medical application / E. Taoufik, S. Nabila, B. Ridha // Journal of Electromagnetic Analysis and Applications. – 2011. – Vol. 3. – #5. – pp. 147-154. – doi:10.4236/jemaa.2011.35024. – ISSN 1942-0730.
- 87.Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука. – 1973. – 343 с.
- 88.Intruders Detector Portaguard // Jane's International Defense Review, 1998. – # 6. – P. 43. – ISSN 1476-2129.
- 89.Ивашов С.И. Теоретические основы биорадиолокации / Л.Н. Анищенко, С.И. Ивашов, В.Б. Парашин // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2007. – №10. – С. 33-41. – ISSN 1560-4136.
- 90.Greneider E.F. Radar sensing of heartbeat and respiration at a distance with application at the technology / E.F. Greneider // IEE Conference RADAR-97 (Conf. Publ. No. 449), Edinburgh, UK, 1997. – pp. 150-154. – doi:10.1049/cp:19971650. – ISBN 0-85296-698-9.
- 91.Microwave life-detection system for searching human subjects under earthquake rubble or behind barrier / Kun-Mu Chen, Yong Huang, Jianping Zhang, A. Norman. // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2000. – Vol. 47. – # 1. – pp 105-114. – doi:10.1109/10.817625. – ISSN 0018-9294.
- 92.Immoreev I., Ivashov S. Remote monitoring of human cardio-respiratory system parameters by radar and its applications / I. Immoreev, S. Ivashov // Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals: proceedings of 4th International conference,

- (UWBUSIS 2008), Sevastopol, Crimea, Ukraine, 2008. – pp. 34-38. – doi:10.1109/UWBUS.2008.4669350. – ISBN 978-1-4244-2738-3.
93. Immoreev I.J., Samkov S.V. Ultra wideband (UWB) radar for the remote measuring of main parameters of patient's vital activity / I.J. Immoreev, S.V. Samkov // Radio Physics and Radio Astronomy (Ukraine). – 2002. – Vol. 7. – # 4, pp. 404-407. – ISSN 2152-274X.
94. Immoreev I.J., Fedotov D.V. Detection of ultra wideband radar signals scattered from complex targets / I.J. Immoreev, D.V. Fedotov // Radio Physics and Radio Astronomy (Ukraine). – 2002. – Vol. 7. – # 4. – pp. 408-412. – ISSN 2152-274X.
95. Arctangent demodulation with DC offset compensation in quadrature doppler radar receiver systems / Byung-Kwon Park, O. Boric-Lubecke, V.M. Lubecke // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2007. – Vol. 55. – #5. – pp. 1073-1079. – doi:10.1109/TMTT.2007.895653. – ISSN 0018-9480.
96. Охотников Д.А. Особенности радиолокационного обнаружения целей, совершающих возвратно-поступательное движение / Д.А. Охотников // Материалы Всероссийской радиофизической конференции памяти Н.А. Арманда, 28.06-01.07, 2010 г, Муром. – Муром. – 2010. – С. 176-181.
97. Scott W.R. An acousto-electromagnetic sensor for locating land mines / W.R. Scott, C. Schroeder, J.S. Martin // Part of the SPIE Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets III, Orlando, Florida, USA, 1998. – Vol. 3392. – pp. 176-186. – doi:10.1117/12.324189.
98. Greneker E.F. Radar sensing of heartbeat and respiration at a distance with security applications / E.F. Greneker // Radar Sensor Technology II: proceedings of SPIE, Orlando, Florida, 1997. – Vol. 3066. – pp. 22-27. – doi:10.1117/12.276106.
99. Апаратура електронна та електрична малопотужна. Підтвердження відповідності базовим граничним рівням, пов'язаним з дією електромагнітних полів від 10 МГц до 300 ГГц на широкий загал: ДСТУ EN 50371:2006. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 10 с.

- 100.Наказ МОЗУ № 476 від 18.12.2002 “Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів” [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.
- 101.Наказ МОЗУ № 1040 від 29.11.2013 “Про затвердження Методики розрахунку розподілу рівнів електромагнітного поля” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z2130-13>.
- 102.Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц: Методические указания МУК 4.3.1167-02 / А.Л. Бузов, Ю.И. Кольчугин, В.П. Кубанов, В.А. Романов [и др.]. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 45 с.
- 103.Харрис Ф.Дж. Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье. – ТИИЭР. – 1978. – т.6. – №1. – с. 60-96.
- 104.Васильев К.А. Особенности реализации широкополосного радиопеленгатора / К.А. Васильев // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения: материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2011», 14–17 ноября 2011 г., Москва. – М.: МГТУ МИРЭА – ИРЭ РАН. – 2011. – Часть 3. – С. 43-46. – ISBN 978-5-7339-0876-2.
- 105.Дворкович А.В. Новый метод расчёта эффективных оконных функций, используемых при гармоническом анализе с помощью ДПФ / А.В. Дворкович // Цифровая обработка сигналов. – 2001. – № 2. – С. 49-54.
- 106.Bilich C.G. Bio-medical sensing using ultra wideband communications and radar technology: a feasibility study / C.G. Bilich // IEEE Pervasive Health Conference and Workshops, Innsbruck, 2006. – pp. 1-9. – doi:10.1109/PCTHEALTH.2006.361671. – ISBN 1-4244-1085-1.
- 107.Бреслав И.С. Паттерны дыхания: физиология, экстремальные состояния, патология. – Л.: Наука. – 1984. – 206 с.

108. Immoreev I., Teh-Ho Tao. UWB radar for patient monitoring / I. Immoreev, Tao Teh-Ho // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 2008. Vol. 23. – #11. – pp. 11-18. – doi:10.1109/MAES.2008.4693985. – ISSN 0885-8985.
109. Дунаев Б.Б. Точность измерения при контроле качества. – К.: Техніка, 1981. – 152 с.
110. Федорков Б.Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М.: Энергоатомиздат. – 1990. – 320 с.
111. Метод і оптико-електронний засіб вимірювання контролю вологості природного газу: монографія / Й.Й. Білинський, В.В. Онушко. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 132 с.
112. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для студентов вузов. – М.: АКАДЕМІА. – 2003. – 576 с.
113. Фрумкин В.Д. Теория вероятностей и статистика в метрологии и измерительной технике. – М. Машиностроение, 1987. – 168 с.
114. Серых В.И., Гребцова Л.В. Достоверность многопараметрического измерительного контроля / В.И. Серых, Л.В. Гребцова // Вестник СибГУТИ. – 2010. – № 1. – С. 70-76. – ISSN 1998-6920.