

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

СТИЦЕНКО ТЕТЯНА ЄВГЕНІВНА

УДК 615.849.11

**МЕТОД ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ МЕДИЧНОГО
ПЕРСОНАЛУ ВІД ВПЛИВУ ВИПРОМІНЮВАНЬ НАДВИСОКОЇ
ЧАСТОТИ**

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Семенець Валерій Васильович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
ректор.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Павлов Сергій Володимирович,
Вінницький національний технічний університет
проректор з наукової роботи, професор кафедри
біомедичної інженерії ;

доктор технічних наук, професор
Кіпенський Андрій Володимирович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
декан факультету соціально–гуманітарних
технологій, професор кафедри промислової та
біомедичної електроніки.

Захист відбудеться « 30 » червня 2017 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.052.05 у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14, корпус 1, зал засідань.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий « 29 » травня 2017 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради К 64.052.05



Т.В. Носова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогоднішній день використання сучасної медичної апаратури, яка працює в діапазоні електромагнітних хвиль надвисоких частот (НВЧ), потребує від медичного персоналу не тільки сучасних навичок її досконалого способу використання, а й належних методів і засобів захисту від негативного впливу даної апаратури на організм людини.

Сучасна медична апаратура представлена широким спектром діагностичної та фізіотерапевтичної ЕМА (електронно–медичної апаратури), яка використовується для діагностики та терапевтичної дії на організм і тканини людини різними фізичними факторами, що створюється цими апаратами: низькочастотна (до 2 кГц) – апарати для електростимуляції, високочастотна (70 кГц – 30 МГц) – апарати для дарсонвізації, діаметрії, індикатометри, ультрависокочастотна (30–30 МГц) – апарати для УВЧ терапії, надвисокочастотна (частота понад 300 МГц) – НВЧ апарати, апарати КВЧ терапії.

Найбільшою проблемою, яка впливає на працездатність та має негативний вплив на здоров'я медичного персоналу, є їх непристосованість до «вітчизняних» умов експлуатації, які часто не узгоджуються з вимогами виробника. Насамперед, це стосується стану приміщень, мереж живлення та інженерних комунікацій. Також наявність електромагнітних перехідних процесів, що виникають через вплив міських та промислових споживачів, які можуть мати тривалість до кількох секунд та смугу частот до десятків мегагерц. Через це виникають провали та імпульси напруги, короткочасні перенапруги. Широке використання у лікуванні ракових пухлин отримала апаратура на основі прискорювача кібер–ножа, який більш компактний завдяки тому, що система генерації НВЧ хвиль у ньому працює в діапазоні Х (8÷12 ГГц). При безперервній експлуатації та внаслідок великої кількості пацієнтів за робочу зміну, виникає можливість надходження електромагнітних хвиль «зовні», за рахунок недостатньої щільності у стиках хвилеводів, виникають так звані «паразитні випромінювання».

Враховуючи всі ці недоліки, виникає необхідність створення систем життєдіяльності та засобів, які за своїми властивостями забезпечили б біологічному об'єкту нормальне функціонування і дозволили оцінити ефективність захисту та забезпечити нормативне значення рівня випромінювання.

Технічні вимоги до оцінки ефективності захисту обумовлюють необхідність пошуку комплексних розв'язань задачі захисту від електромагнітного випромінювання.

Серед робіт з біологічної дії випромінювання надвисоких частот на системи організму людини чільне місце займають роботи М. Р. Шандали, К. В. Никоновій, Б. А. Чухловина, М. Л. Баранникова, Яшина С. А. та ін.

Напрямок, пов'язаний з дослідженням і розробкою матеріалів і конструкцій з кінцевою провідністю, які забезпечили б заданий коефіцієнт

захисту у складній структурі електромагнітного поля, отримано розвиток в роботах В. А. Торганова, П. М. Маслова, Н.А.Хижняка, Б. В. Дзюндзюка, О. С. Островського, Л. М. Линькова, К. Ю. Александрова та ін.

У зв'язку з удосконаленням методів побудови систем захисту (СЗ) від випромінювання надвисоких частот, особливу роль відіграє вирішення задачі дослідження особливостей впливу радіопоглинаючих матеріалів (РПМ) на рівень випромінювання у приміщеннях з медичною апаратурою, а також властивостей цих матеріалів: коефіцієнта відбиття, поглинання, екранування.

На основі проведеного аналізу, для вирішення даної задачі, потрібно теоретично та експериментально дослідити поглинаючі властивості матеріалів, які задовольняли б співвідношенню «ефективний захист – низька вартість».

Методи, засоби та методики, які існують для захисту медичного персоналу, що працює під впливом випромінювання надвисоких частот, базуються на теорії електромагнітного поля. Проте, відомі нині методи та засоби мають свої недоліки та обмежену галузь застосування, тому вдосконалення існуючих і розробка нових підходів, а також оптимізація систем життєдіяльності, є актуальною науково–технічною задачею.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі охорони праці Харківського національного університету радіоелектроніки згідно з планом наукового напряму кафедри відповідно до госпдоговірної теми: «Проведення експертизи технічних рішень системи захисту персоналу та навколишнього середовища від впливу електромагнітного випромінювання надзвичайно високих частот промислового устаткування». У зазначеній темі здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета дисертаційної роботи. Мета даної дисертаційної роботи полягає в розробці методу оцінки ефективності захисту медичного персоналу та удосконаленню захисту при обслуговуванні, ремонті і експлуатації медичних приладів і систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз джерел електромагнітних полів (ЕМП) при використанні медичної апаратури у лікувальних закладах;
- провести аналіз існуючих захисних пристроїв і методів захисту людини від дії випромінювань надвисоких частот;
- розробити функціональну модель біологічної системи життєдіяльності;
- визначити критерій оцінки ефективності захисту при дії електромагнітного випромінювання на біологічні об'єкти;
- дослідити властивості багатошарових поглиначів, на можливість їх застосування для захисту медичного персоналу;
- удосконалити моделі індивідуальних засобів захисту біологічного об'єкту, які забезпечили б рівноцінний захист від дії ЕМВ по всьому об'єму тіла людини при обслуговуванні, ремонті і експлуатації медичних приладів і систем;

– провести апробацію ефективності засобів захисту медичного персоналу в лікувальних закладах при дії випромінювання надвисоких частот.

Об'єкт дослідження: процес визначення параметрів захисних багатошарових покриттів при довільних кутах падіння електромагнітної хвилі в широкому частотному діапазоні застосування медичних приладів і систем.

Предмет дослідження: метод, моделі та засоби визначення параметрів електромагнітного поля.

Методи дослідження: методи електродинаміки – для дослідження і розробки засобів захисту від дії ЕМП, методи моделювання складних стохастичних об'єктів – для аналізу процесів та оцінки ефективності захисту ЕМП, методи математичного моделювання – для розроблення моделі біологічної системи життєдіяльності і узагальненого критерію; методи статистичної обробки даних – для перевірки адекватності та підтвердження достовірності розроблених методів захисту медичного персоналу від дії електромагнітного випромінювання.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше розроблений метод оцінки ефективності захисту медичного персоналу при комплексній дії електромагнітного випромінювання та запропоновано узагальнений критерій оцінки, що дозволило більш адекватно оцінити існуючі системи захисту;

– вдосконалена модель оцінки рівня ЕМВ, яка на відміну від відомих враховує всі джерела випромінювання, що дозволило одночасно оцінювати показники електромагнітного випромінювання для різних типів джерел;

– отримало подальший розвиток рішення задачі визначення параметрів багатошарових покриттів, що слабо відображають, при довільних кутах падіння електромагнітної хвилі і поляризації в широкому частотному діапазоні застосування медичних приладів і систем, що дозволило розрахувати коефіцієнт поглинання при різній товщині поглинача;

– отримав подальший розвиток метод розрахунку коефіцієнта захисту при впливі електромагнітного випромінювання на організм людини, що дозволило запропонувати систему захисту людини, яка забезпечує рівно ефективні захисні властивості по всьому об'єму тіла людини.

Практична значущість отриманих результатів. Отримані наукові результати мають практичне значення, що підтверджується актами впровадження результатів досліджень.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес на кафедрі біомедичної інженерії Харківського національного університету радіо–електроніки під час викладання дисциплін «Основи взаємодії фізичних полів з біологічними об'єктами», «Діагностичні та терапевтичні прилади» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи).

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Національної академії Національної гвардії України (акт впровадження результатів дисертаційної роботи).

Результати дисертаційної роботи були впроваджені в роботу

Харківського Державного підприємства «Центральне конструкторське бюро «Протон» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи).

Розроблений в дисертаційній роботі матеріал планується до використання у науково–дослідній установі «Український науково–дослідний інститут екологічних проблем» (УкрНДІЕП) м. Харків (акт впровадження результатів дисертаційної роботи).

Результати наукових досліджень плануються до використання у Головному центрі спеціального контролю Державного космічного агентства України м. Київ (акт про використання результатів дисертаційної роботи).

Особистий внесок здобувача. Усі положення дисертаційної роботи, які виносяться на захист, основні результати теоретичних та експериментальних досліджень одержані автором самостійно [5–7, 16, 19, 20, 26, 28]. В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: визначення аналітичним шляхом миттєвого значення напруженості поля прямої та перевипроміненої хвилі в точці прийому з урахуванням втрат за рахунок поглинання та розсіювання на неоднорідностях [1]; розробка неінваріантної моделі при переході від структури до функціонування у підсистемі «людина–машина–оточуюче середовище» [2]; порівняльний аналіз характеристик впливу різних типів моніторів на безпеку життєдіяльності людини [3]; визначений коефіцієнт захисту при дозовому підході при розгляданні біовпливу на систему [4]; удосконалено розробку неоднорідних поглинаючих матеріалів на основі пінополістиролу з додаванням графіту у діапазоні частот 10–75 ГГц [8]; обґрунтування значення напруженості поля у точці прийому, проведений аналіз амплітуди результуючого поля випромінювань [9]; розробка функціональної та потенціальної моделі біомедичної системи життєдіяльності [10]; проведений аналіз випромінювання у дальній зоні [11]; вибір основних вимог до систем функціонального захисту [12]; обґрунтування проблеми захисту здоров'я людини при впливі електромагнітного випромінювання [13]; обґрунтування захисту кристалику ока при впливі електромагнітного випромінювання [14]; обґрунтоване питання використання функціонального стану людини для оперативної інформації стану критерію якості захисту [15]; обґрунтування розробок нових матеріалів для захисту людини [17]; аналіз функціональної та експертної системи керування умовами праці [18]; удосконалення методики розрахунку щільності потоку енергії у спеціальному приміщенні [21]; обґрунтування вибору системи захисту біологічного об'єкта при впливі електромагнітного випромінювання [22]; обґрунтування використання дозового підходу [23]; обґрунтування підходу до захисту та нейтралізації електромагнітних випромінювань [24]; обґрунтування ефективності екранування при складній структурі поля [25]; проведений аналіз біфуркацій системи захисту [27].

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на 17 Всеукраїнських та Міжнародних наукових конференціях: Міжнародній науково–методичній конференції «Безпека людини в сучасних умовах» 2001р., 2005–2015рр., м. Харків; 10–ій Міжнародній конференції «Теорія і техніка передачі, прийому та обробки інформації» м. Харків 2004 р.; Міжвузівській

науково–технічній конференції «Психологічні та технічні проблеми безпеки праці, життя та здоров'я людини», м. Полтава 2005р., 2006р.; Міжнародній науково–практичній конференції «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні інноваційними проектами» (ММП–2013), м. Харків.

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи були опубліковані у 28 наукових працях, зокрема: 7 статей у наукових виданнях, що входять до переліку фахових видань України для публікації результатів дисертаційних робіт з технічних наук; 2 стаття у періодичному фаховому виданні, що входить до міжнародних науково–метричних баз даних, 1 стаття в закордонному виданні; 18 публікацій за матеріалами тез доповідей науково–практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 115 найменуваннями на 13 сторінках та 2 додатків на 18 сторінках, а також містить 30 рисунків і 3 таблиці (рисунки та таблиці, що займають окрему площу на 2 сторінках). Загальний обсяг роботи складає 170 сторінок, включаючи 125 сторінок основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить загальну характеристику роботи, обґрунтування її актуальності, формулювання мети й основних задач дослідження, визначення об'єкта, предмета і методів дослідження, наукову новизну і практичну значущість отриманих результатів, зв'язок з науковими програмами, планами, темами, перелік публікацій та опис особистого внеску здобувача у наукових працях, виконаних у співавторстві, а також наведено відомості про впровадження результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** висвітлена біологічна дія ЕМП на людину та стан систем захисту медичного персоналу від електромагнітного випромінювання.

Проведено аналіз існуючих джерел електромагнітних полів, які впливають на медичний персонал при щоденній роботі, методів, які використовуються для визначення характеристик електромагнітного поля. В розділі наведено їх технічні характеристики, переваги та недоліки.

При широкому використанні у сучасних медичних закладах апаратури, яка працює у діапазоні електромагнітних хвиль, вплив електромагнітних полів на організм людини може бути досить значним. Найбільшу небезпеку електромагнітні випромінювання представляють для нервової, імунної, ендокринної, статевої систем.

Згідно із запропонованою класифікацією методи захисту від електромагнітних полів діляться на: захист відстанню, захист часом, зменшення потужності випромінювання, екранування. На практиці бажано поєднувати декілька методів захисту.

Для більш адекватної оцінки стану систем захисту запропоновано провести оцінку ефективності за допомогою визначення загального критерію.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано напрями досліджень та

сформульовано основні задачі, які необхідно вирішити для реалізації мети дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений розробці методу оцінки ефективності захисту медичного персоналу від впливу випромінювань надвисокої частоти, моделі електромагнітної обстановки в приміщенні з медичною апаратурою, вирішенню задачі визначення параметрів слабо відображаючих багатозарових покриттів при довільних кутах падіння електромагнітної хвилі, розробці методу розрахунку коефіцієнту захисту електромагнітного випромінювання на організм людини, що знаходиться в захисному середовищі.

На рис.1 представлений метод оцінки ефективності захисту

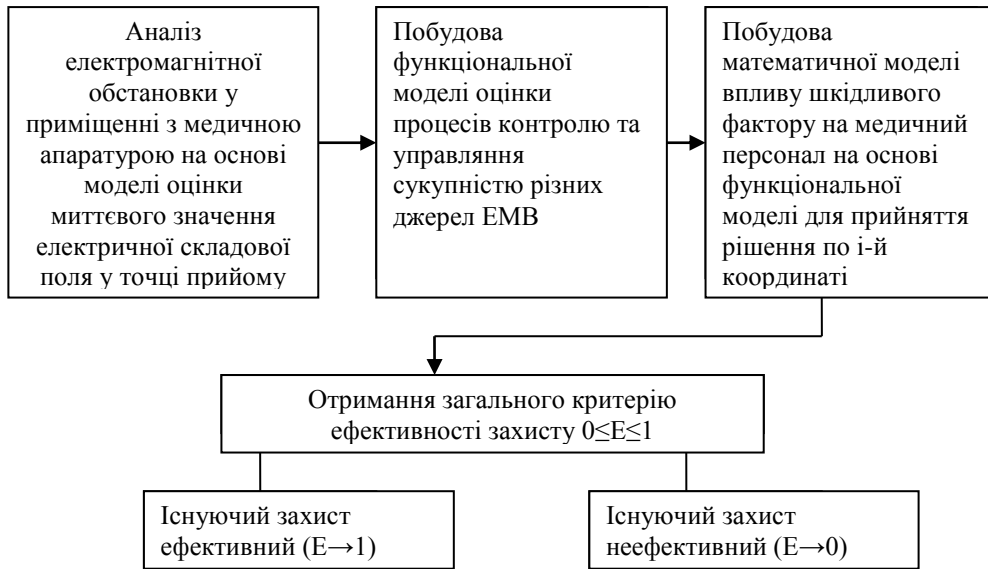


Рисунок 1 – Метод оцінки ефективності захисту

Для проведення оцінка ефективності необхідно проаналізувати електромагнітну обстановку у приміщенні з медичною апаратурою.

Миттєве значення напруженості поля у приміщенні від джерела ЕМП в точці прийому визначено як суперпозиція прямої хвилі, β паразитних джерел випромінювання і α джерел пере відображень за допомогою трьох однотипних доданків

$$\begin{aligned}
 E = & \frac{\sqrt{60P_1G_1}}{r} e^{i(\omega t - Kr)} \left[B + \sum_{j=1}^n \frac{\xi_j B_j R_j r}{r + \Delta r_j} e^{-i(K\Delta r_j + \Theta_j)} \right] + \\
 & \sum_{s=1}^{\beta} \frac{\sqrt{60P_2G_2}}{r_s} e^{i(\omega t - Kr_s)} \left[B_s + \sum_{t=1}^m \frac{\xi_s B_{st} R_t r_s}{r_s + \Delta r_t} e^{-i(K\Delta r_t + \Theta_t)} \right] + \\
 & \sum_{g=1}^{\alpha} \frac{\sqrt{60P_3G_3}}{r_g} e^{i(\omega t - Kr_g)} \left[B_g + \sum_{\gamma=1}^p \frac{\xi_\gamma B_{g\gamma} R_\gamma r_g}{r_g + \Delta r_\gamma} e^{-i(K\Delta r_\gamma + \Theta_\gamma)} \right],
 \end{aligned} \quad (1)$$

де (для відповідних додатків) P_i – потужність випромінювання хвилі; G_i – коефіцієнт підсилення рупору; r_i, r – відстані між передавальним джерелом і точкою прийому; $K = \frac{2\pi}{x}$ хвильове число; R_i – модуль комплексного коефіцієнта відбиття; Θ_i – зміни фази при відбитті хвилі; Δr_i – різниця відстаней, які проходять пряма і пере випромінювані хвилі; B, B_i, B_{ij} – коефіцієнти ослаблення; ξ_i – коефіцієнт, що враховує поляризацію; n, m, p – кількість послаблень прямої, паразитної і пере відображеної хвилі відповідно.

Вираження у квадратних дужках являють собою ослаблення функції, що характеризують відмінність реального поля від поля у вільному просторі. Вони є випадковими величинами, визначеними окремими законами розподілу ймовірностей, що описують зміну амплітудних значень напруженості поля.

Розглянемо двошарову структуру поглинаючого покриття, що складається з шарів, які характеризуються хвильовими числами γ_1 і γ_2 (рис. 2). Верхнє і нижнє півпростору характеризуються відповідно хвильовими числами γ_3 і γ_0 . Нехай плоска хвиля магнітного типу падає на поверхню структури.

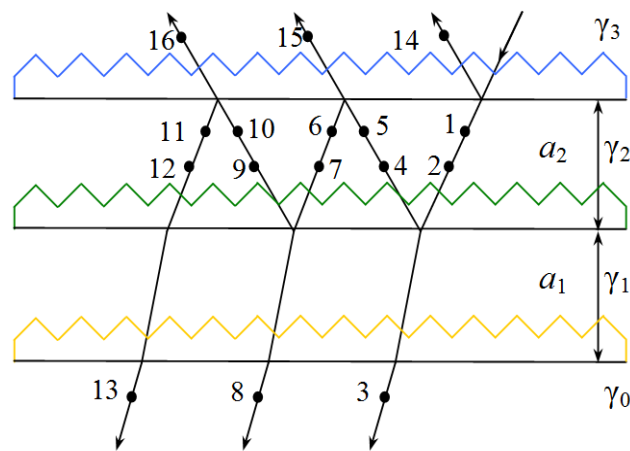


Рисунок 2 – Багатошарова структура поглинаючого матеріалу

Коефіцієнт проходження двошарової структури ${}_2S_{32}$ визначається підсумовуванням коефіцієнтів променів, що вийшли в нижній півпростір (точки 3,8,13 і т.д.).

Аналогічно, коефіцієнт відбиття ${}_2R_{32}$ двошарової структури визначається підсумовуванням коефіцієнтів променів, що вийшли назад у верхній півпростір (точки 14,15,16 і т.д.).

У роботі за допомогою методу математичної індукції для N – шарової структури, отримали:

коефіцієнт екранування

$$S_{21} = \frac{(1 + R_{21})(1 + R_{10})e^{-2\gamma_1\alpha_1}}{1 + R_{21}R_{10}e^{-2\gamma_1\alpha_1}} \quad (2)$$

і коефіцієнт відбиття

$$R_{21} = \frac{R_{21} + R_{10}e^{-2\gamma_1\alpha_1}}{1 + R_{21}R_{10}e^{-2\gamma_1\alpha_1}}, \quad (3)$$

$$\text{де } R_{10} = \frac{\gamma_0 - \gamma_1}{\gamma_0 + \gamma_1}, \quad R_{21} = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2}.$$

R_{10} , R_{21} – коефіцієнти відбиття від відповідних меж.

В наведених виразах подвійні індекси праворуч вказують на напрямок руху електромагнітної хвилі, а індекс зліва – на кількість екрануючих шарів.

У **третьому розділі** було розроблено математичну модель біологічної системи життєдіяльності (БСЖ) та узагальнений критерій при дії електромагнітного випромінювання на біологічні об'єкти.

Синтез оптимальної БСЖ можливо виконати на основі узагальненого функціонально–статистичного критерію. При цьому в загальному випадку для синтезу необхідно знати багатовимірні закони розподілу ймовірностей випадкових векторів X , X' , Z , Z_1 , U' , U , Y , Φ , а також часткових та узагальнених витрат C . В останньому випадку в якості векторів X , X' можна обмежитися визначенням інтенсивності випромінювання НВЧ, яка визначається значенням електричної E та магнітної H складових.

При вирішенні проблеми синтезу системи, виходячи із допустимих значень векторів Y і Φ , необхідно синтезувати пристрої біологічного захисту від ЕМВ, вибрати закони зміни векторів керування U і U' .

На рис. 3 приведена функціональна модель БСЖ з джерелом ЕМВ, на який діє деякий вектор зовнішніх $Z(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ і внутрішніх $Z_1(h_1, h_2, h_3, \dots, h_k)$ збуджень, які носять випадковий характер.

Ці збудження обумовлюють випадковість векторів $X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ і $X'(X_1', X_2', \dots, X_m')$.

Вектор вихідних координат джерела ЕМВ може визначити просторове і тимчасове положення об'єкта, а також нести інформацію про координати стану ЕМВ при впливі векторів керування $V(V_1, V_2, \dots, V_m)$ на джерело НВЧ випромінювання і на систему захисту $V'(V_1', V_2', \dots, V_m')$, що виробляються контролем і керуванням рівня ЕМВ (ККР). Виконуючи вимірювання векторів X , X' , що характеризують стан ЕМВ, до і після середовища ККР формує вектори керувань V і V' . Система функціонування засобів захисту формує вектор Y . Стан біологічного об'єкта характеризується вектором Φ .

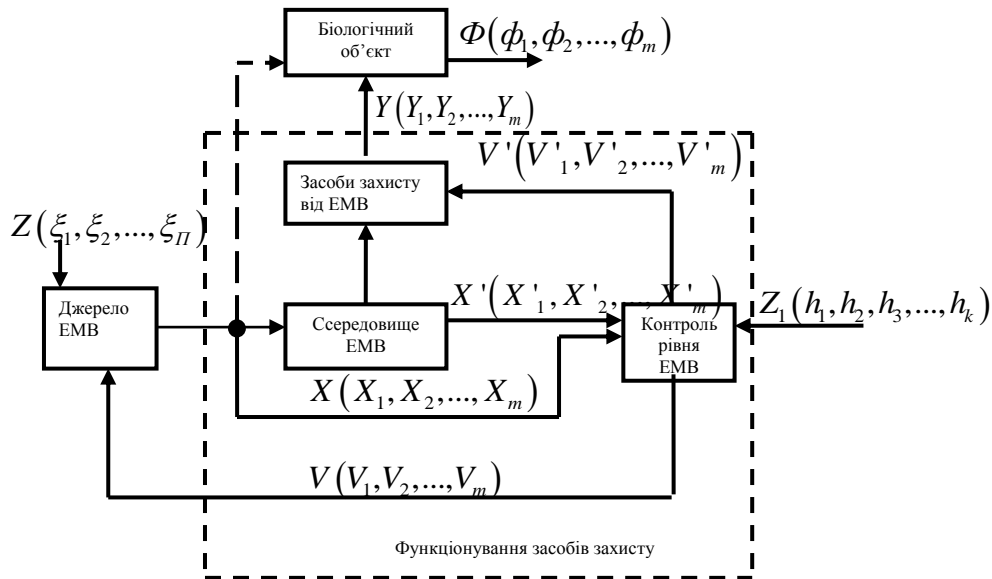


Рисунок – 3 Функціональна модель БСЖ з джерелом ЕМВ

Вектори X, X', V, V', Y, Φ мають випадковий характер.

Реальна математична модель БСЖ будується аналогічно потенційній математичній моделі, при цьому приймаються реальні закони розподілу ймовірностей і різні алгоритми прийняття рішень, обумовлені обраним критерієм.

Умовна ймовірність того, що i -та координата входу x знаходиться в нормі

$$P_i(x_{1i}|y_i) = \frac{P_i(y_i|x_{1i})P_i(x_{1i})}{P_i(y_i)}. \quad (4)$$

Або з урахуванням закону розподілу, ймовірності умовна щільність розподілу $f(y_i|x_{1i})$

$$P_i(x_{1i}|y_i) = \frac{f(y_{1i}|x_{1i})P_i(x_{1i})}{P_i(y_i)}. \quad (5)$$

Умовна ймовірність того, що i -та координата відхилилась від норми

$$P_i(x_{0i}|y_i) = \frac{P_i(y_i|x_{0i})P_i(x_{0i})}{P_i(y_i)}. \quad (6)$$

Або з урахуванням закону розподілу ймовірності

$$P_i(x_{0i}|y_i) = \frac{f(y_i|x_{0i})P_i(x_{0i})}{P_i(y_i)}. \quad (7)$$

Функція і відношення правдоподібності можуть бути визначені відповідно за формулами:

$$\frac{P_i(x_{1i}|y_i)}{P_i(x_{0i}|y_i)} = \frac{f(y_i|x_{1i})P_i(x_{1i})}{f(y_i|x_{0i})P_i(x_{0i})}, \quad (8)$$

$$\Lambda = \frac{f(y_i|x_{1i})}{f(y_i|x_{0i})}. \quad (9)$$

Якщо рішення приймається по критерію правдоподібності, то

$$\Lambda = \frac{P_i(x_{0i})}{P_i(x_{1i})} = 0, \text{ якщо } \Lambda < \Lambda_0, \text{ в протилежному випадку } \Lambda = 1.$$

Система прийняття рішення може бути побудована для різних критеріїв:

– для критерія ідеального спостерігача $\Lambda_0 = 1$;

– для критерія нормального ризику $\Lambda_0 = \frac{L_1 q}{L_2 P}$,

де L_1 и L_2 –вагомі коефіцієнти;

– для критерія Неймана–Пірсона $L_1 = L_2$.

Помилки першого і другого роду являються відповідно ймовірностями при помилковому і нормальному прийнятті рішення

$$\bar{P}_{\text{лоі}} = P_i(y \supset (\Lambda_0 | x_{1i})); \quad (10)$$

$$P_{\text{ноі}} = P_i(y \supset (\Lambda_1 | x_{0i})),$$

які розраховуються з урахуванням всіх можливих помилок.

Після прийняття рішення ймовірний стан джерела випромінювання по i – й координаті x входу дорівнює

$$P'_i = \frac{P_i \bar{P}_{\text{лоі}}}{P_i \bar{P}_{\text{лоі}} + \bar{P}_i P_{\text{ноі}}}. \quad (11)$$

Кількість інформації, отриманої при прийнятті рішення по i – й координаті

$$I_{i\text{max}} = H_i - H'_i, \quad (12)$$

$$\text{де } H_i = -P_i \log_2 P_i - \bar{P}_i \log_2 \bar{P}_i, \quad (13)$$

$$H'_i = -P'_i \log_2 P'_i - \bar{P}'_i \log_2 \bar{P}'_i, \quad (14)$$

відповідно ентропія стану ЕМВ до и після прийняття рішення керування рівнем джерела випромінювання.

Загальна кількість інформації відповідно дорівнює

$$I_{\text{max}} = \sum_i^m I_{i\text{max}}. \quad (15)$$

Звідси загальні витрати з урахуванням витрат на отримання потрібних

надійності, швидкодії і т. п. будуть дорівнювати

$$C = \sum_i^m C_i, \quad (16)$$

$$\text{де } C_i = C_{i\min} + \Delta C_{it} + \Delta C_{ip} + \dots, \quad (17)$$

ΔC_{it} – додаткові витрати на отримання потрібної швидкодії;

ΔC_{ip} – додаткові витрати на отримання потрібної надійності.

Ефективність роботи реальної БСЖ

$$K_I = \frac{I_{\max}}{C}. \quad (18)$$

Узагальненим критерієм E , з урахуванням потенційної і реальної моделей, можна оцінити ефективність БЗСЖ

$$E = \frac{K_I}{K_{I0}} = \frac{C_{\min}}{C}. \quad (19)$$

Використання узагальненого критерію E , отриманого на основі потенційної та реальної математичних моделей, біологічного захисту дозволяє характеризувати як всю систему, так і її окремі частини.

При цьому діапазон зміни критерію для практичних систем

$$0 \leq E \leq 1.$$

Недосконалі БСЖ мають E близький до нуля, а досконалі – до одиниці.

В четвертому розділі дисертаційної роботи проведено експериментальне дослідження поглинаючих матеріалів при впливі електромагнітного випромінювання на медичний персонал.

Для експериментальних досліджень застосовувалися прилади ПЗ–19, МЗ–63, МЗ–64, що працюють в діапазоні 3–75 ГГц.

Матеріал виготовляють двох типів, які відрізняються між собою діелектричною проникністю основи, законом розподілу графіту в матеріалі і геометрією верхньої поверхні.

В діапазоні частот від 10–75 ГГц і кутів падіння електромагнітної хвилі в межах 0–70° діелектрична проникність змінювалася від 1 до 2,0. Узгоджувальний шар виготовлявся з п'яти окремих пластин пінополістиролу з різною діелектричною проникністю, зростаюча від першого шару до останнього.

Неоднорідний діелектрик з втратами виготовлявся п'ятишаровим також з пінополістиролу з $\varepsilon_1 = 2,0$. У кожен шар в якості поглинаючого матеріалу додавався аквадаг різної концентрації. Отримані таким чином шари в певній послідовності з'єднувалися в монолітний блок і разом з узгоджуваним шаром склали поглинаючий матеріал першого типу.

Другий тип матеріалу представляє таку ж структуру, як і матеріал першого типу, але без узгоджувального шару. Для цього типу матеріалу діелектрична проникність основи близька до одиниці. У кожен шар додавалося

певну кількість аквадага, яка розрахована за виразом

$$\varepsilon_1 = 1 + \frac{3}{4} G, \quad \varepsilon_2 = \frac{3}{4} G,$$

де G – вага графіту на 1 г пінополістиролу після першого спінування.

Для кращого узгодження поглинаючого матеріалу з вільним простором на передню поверхню накладався лист пінополістиролу з $\varepsilon_1 \approx 1$.

На рис. 4 представлена залежність коефіцієнта відбиття електромагнітної хвилі від поглинаючого матеріалу першого типу з узгоджуваним шаром і без нього у функції кута падіння для різних частот в досліджуваному діапазоні. Аналізуючи графіки, можна зробити висновок, що поглинаючий матеріал без узгоджувального шару має коефіцієнт відбиття більший, ніж з узгоджуваним шаром. Крім того, видно, що коефіцієнт відбиття матеріалу з узгоджуваним шаром майже не залежить від кута падіння електромагнітної хвилі. Для досліджуваного частотного діапазону коефіцієнт відбиття перевищує – 30 дБ і на частоті 75 ГГц досягає 40 дБ.

Коефіцієнт відбиття матеріалу першого типу залежить як від частоти, так і від кута падіння електромагнітної хвилі. Для обох типів матеріалу коефіцієнт відбиття залишається практично постійним для будь-якого виду поляризації електромагнітних хвиль.

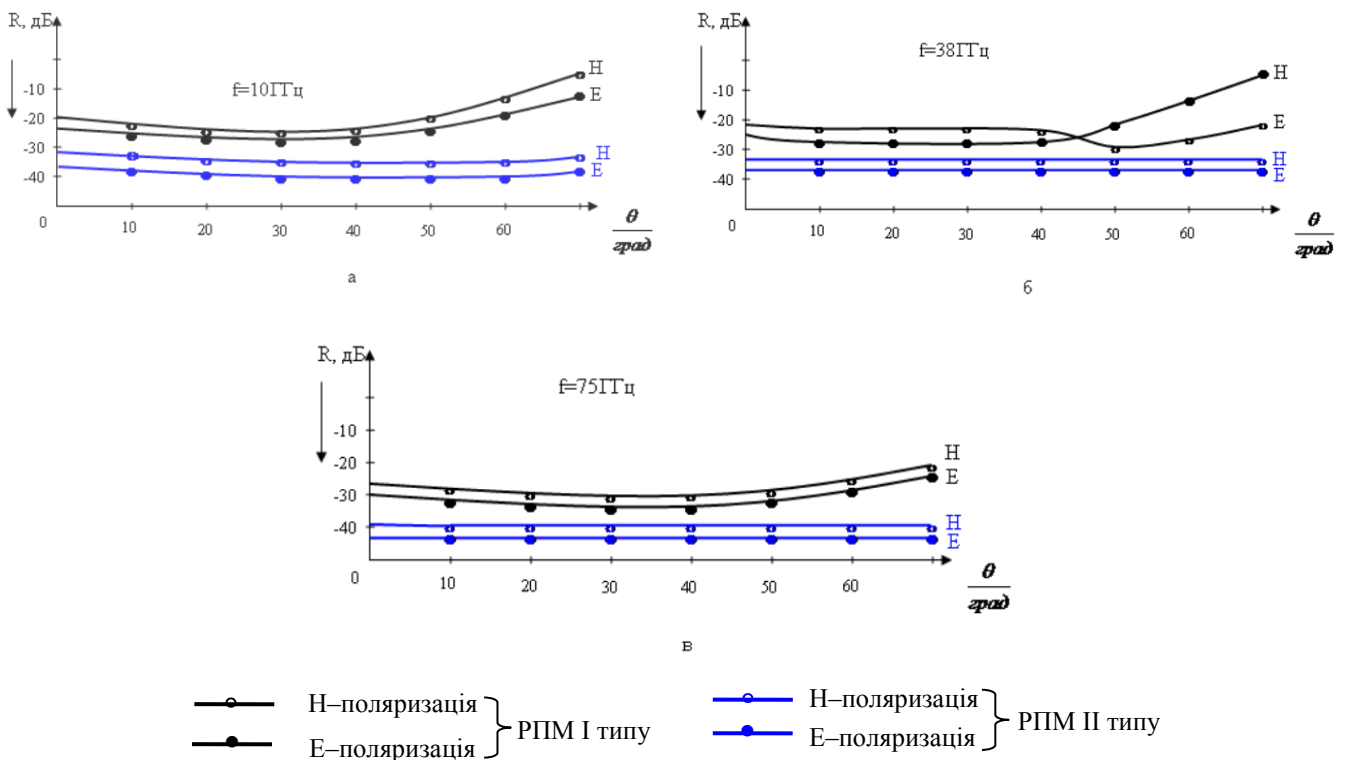


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта відбиття від кута падіння електромагнітної хвилі на РПМ; а – на частоті 10 ГГц; б – на частоті 38 ГГц; в – на частоті 75 ГГц

Результати досліджень характеристик поглинаючого матеріалу з рельєфною передньою поверхнею представлені на рис. 5.

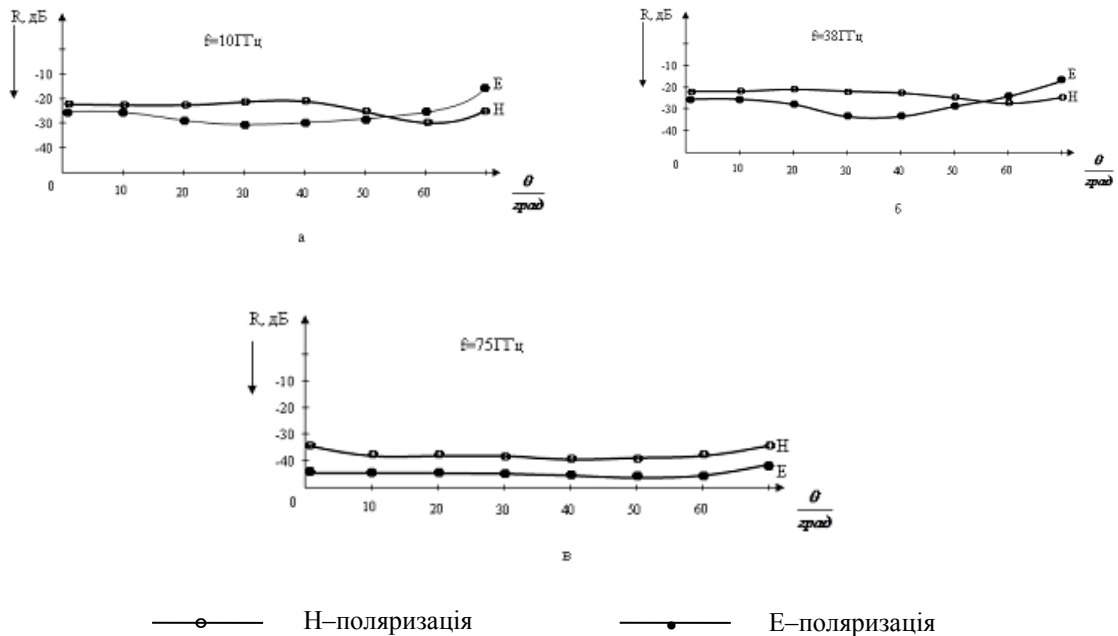


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта відбиття від кута падіння електромагнітної хвилі на РПМ з рельєфною поверхнею; а – на частоті 10 ГГц; б – на частоті 38 ГГц; в – на частоті 75 ГГц

Для матеріалу з рельєфною передньою поверхнею коефіцієнт відбиття істотно залежить від кута падіння ЕМВ і площини її поляризації на частоті 75 ГГц. Із збільшенням довжини електромагнітної хвилі, поглинаючі властивості РПМ значно погіршуються.

ВИСНОВКИ

Аналіз моделей, сучасних методів та аналітичний огляд науково-технічної та медичної інформації показав, що на сьогодні не існує оцінки ефективності системи життєдіяльності в умовах використання медичної апаратури з джерелами електромагнітного випромінювання. Отже, дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-практичної задачі – розробці нового методу та засобу використання особливостей впливу випромінювання надвисоких частот на медичний персонал, розробці математичної моделі біомедичної системи життєдіяльності, методів і засобів для підвищення ефективності захисту організму людини.

Основні результати роботи полягають у тому, що:

1. В результаті аналізу встановлено, що при використанні сучасної електронної медичної апаратури, медичний персонал підвергається впливу різних джерел ЕМВ. Це потребує проведення оцінки ефективності захисту, яка б підтвердила доцільність використання існуючих захисних методів та дозволила більш якісно провести заходи по поліпшенню властивостей захисних

методів. Тому в роботі вирішується завдання оцінки ефективності захисту медичного персоналу, яке базується на розробці методу, який дозволяє більш адекватно оцінити ефективність захисту медичного персоналу від впливу випромінювань НВЧ.

2. Вдосконалена модель визначення рівня електромагнітного випромінювання, яке впливає на біологічні об'єкти. В цій моделі на відміну від відомих враховуються як паразитні випромінювання, число відображених хвиль так і число зовнішніх джерел, що мають випадкові амплітуди і фази. Це дозволило визначити показники електромагнітного випромінювання для різних типів джерел випромінювання і їх інтенсивності в медико–діагностичних, лікувальних, хірургічних приладах і системах, а також в їх окремих частинах.

3. Розроблений метод оцінки ефективності захисту медичного персоналу на основі оцінки дози шкідливої дії електромагнітного випромінювання, який дозволяє більш якісно провести порівняння існуючі технічних систем по рівню їх безпеки, враховуючи при цьому «критерій ефективності» захисту, який базується на використанні аналізу усіх можливих джерел ЕМВ.

4. Розроблена функціональна модель біологічної системи життєдіяльності з різними джерелами електромагнітного випромінювання НВЧ діапазону на основі детерміністських критеріїв, які дозволяють з певною вірогідністю оцінити виконання задачі функціонування системи життєдіяльності.

5. Розроблений узагальнений критерій біологічної системи життєдіяльності дозволить характеризувати як всю систему, так і її окремі частини. Критерій побудований з урахуванням вартості системи, який дозволяє при побудові моделі біологічного захисту на підставі загальних моделей, отримати розрахункові формули, що зв'язують визначений критерій якості системи з параметрами, які можна порівняно легко вимірити і нормувати з біологічних і санітарних підходів, що і визначає практичну цінність роботи.

6. Отримано подальше вирішення задачі визначення параметрів багатопарових покриттів, які слабо відображають ЕМХ, при довільних кутах падіння електромагнітної хвилі і поляризації в широкому частотному діапазоні застосування медичних приладів і систем (10 – 75ГГц), що дозволило розрахувати коефіцієнт поглинання при різній товщині поглинача.

7. Проведено експериментальне дослідження поглинаючих матеріалів при дії електромагнітного випромінювання. Показано, що резистивний поглинаючий матеріал на основі пінополістиролу (EPS) з додаванням графіту, володіє тією особливістю, що дозволяє реалізувати розрахункові закони зміни комплексної діелектричної проникності. Зокрема, поглинаючий матеріал без шару, що погоджує, з додаванням в кожний шар аквадагу різної концентрації, має коефіцієнт відображення більше, ніж що погоджує. Поглинаючі властивості матеріалу практично не залежать від кута падіння електромагнітної хвилі.

8. Експериментально доведено, що можна створити матеріал з якнайкращими коефіцієнтами відображення і поглинання в широкому діапазоні

кутів падіння електромагнітної хвилі в нижній частині частотного діапазону. Застосування в матеріалі елементів конусоподібної форми, що відображають ЕМХ, приводить до істотного зростання коефіцієнта поглинання. Це, у свою чергу, дозволяє отримати матеріал малої товщини в широкому діапазоні довжин хвиль.

9. Експериментально встановлено, що матеріал для екранування ЕМВ на основі пінополістиролу (EPS) з додаванням графіту, володіє високими екрануючими властивостями без використання складної технології виготовлення. Як найкращими характеристиками в досліджуваному діапазоні частот володіє аквадаг з розміром частинок графіту 30–70 мкм.

10. Встановлено експериментальним шляхом, що ефективність захисту всіх частин тіла людини залежить від властивості тканини, що містить струмопровідну сітку і від розміру кроку сітки. Чим крок сітки менше, тим вище ефективність екранування. Встановлено, що якщо захисний одяг виконати з тканини, в якій змінний крок сітки на різних ділянках тіла людини, то рівень потужності, що пройшла через екран буде однаковим для всіх ділянок, тобто падаюче на тіло людини випромінювання буде постійним.

11. Отримав подальший розвиток метод розрахунку рівноеквівалентного захисту при дії електромагнітного випромінювання на організм людини, що знаходиться в захисному середовищі. Це дозволить за рахунок створення різного шагу сітки захисного одягу, розробити систему захисту людини, яка забезпечить рівноеквівалентний рівень опромінювань по всьому об'єму тіла людини при обслуговуванні, ремонті і експлуатації медичних приладів і систем.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Стыцэнко Т.Е. Критерии и способы оптимального размещения датчиков контрольно-измерительной аппаратуры / Т.Е. Стыцэнко, Б.В. Дзюндзюк, М.И. Пацера // Вестник национального технического университета ХПИ. – 2006. – №10. – С. 47 – 51.

2. Стыцэнко Т.Е. Структуры и типы моделей систем «человек–машина–среда» / Т.Е. Стыцэнко, Б.В. Дзюндзюк, И.В. Наумейко, Н.Н. Сердюк. // АСУ и приборы автоматики. – 2007. – № 138. – С. 47 – 50.

3. Стыцэнко Т.Е. Безопасность работы при использовании различных видов мониторов / Т.Е. Стыцэнко, Б.В. Дзюндзюк, И.И. Хондак // Вестник национального университета ХПИ. – 2008. – №43. – С. 94 – 98.

4. Стыцэнко Т.Е. Критерии и методы оптимизации систем с защитой / Т.Е. Стыцэнко, Б.В. Дзюндзюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – 2/3(32). – С. 10 – 13.

5. Стыщенко Т.Е. Исследование характеристик радиозащитного костюма с постоянным коэффициентом защиты // Т.Е. Стыщенко Вестник НТУ ХПИ. – 2010.– № 44. – С. 101 – 104.
6. Стыщенко Т.Е. Системний підхід до інформаційного забезпечення охорони праці // Т.Е. Стыщенко Вестник Харьковского национального автомобильно–дорожного университета. – 2012. – Вып. 59. – С. 155 – 157.
7. Стыщенко Т.Е. Подходы к обеспечению безопасности жизнедеятельности в современных условиях // Т.Е. Стыщенко Збірка наукових статей, що видана за матеріалами VII–ї міжнародної науково–методичної конференції НТУ «ХПИ» та 105–ї міжнародної конференції EAS «Безпека людини в сучасних умовах». – 2015. – С. 76 – 80.
8. Стыщенко Т.Е. Разработка материала для защиты медицинского персонала от воздействия излучений / В.В. Семенец, Т.Е. Стыщенко // Восточно–Европейский журнал передовых технологий – 2016. – № 2/5(80). – С. 30 – 37.
9. Стыщенко Т.Е. Анализ электромагнитной обстановки и моделирование источников паразитных излучений / В.В. Семенец, Т.Е. Стыщенко // Радиотехника. – 2016.– № 184. – С. 155 – 163.
10. Стыщенко Т.Е. Разработка биомедицинской системы жизнедеятельности при воздействии электромагнитных излучений / В.В. Семенец, Т.Е. Стыщенко // Системи обробки інформації. – 2016. – № 8(145). – С. 139 – 144.
11. Stytsenko T.E, Semenets V.V Analysis of electromagnetic and modeling of spurious radiation sources / Т.Е. Stytsenko, V.V. Semenets // Telecommunications and Radio Engineering. – 2016, Vol. 75, Issue 15. – P. 1385 – 1396.
12. Стыщенко Т.Е. К вопросу о проектировании систем защиты от воздействия вредных факторов / Б.В. Дзюндзюк, П.Н. Маслов // Научно–методическая конференция по БЖД, 27 – 28 ноября 2001г., матеріали конф. – Х., 2001. – С. 68 – 70.
13. Стыщенко Т.Е. Обеспечение электромагнитной безопасности / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // Сборник тезисов доклада по материалам международной научной конференции «Теория и техника передачи, приема и обработки информации», г. Туапсе, 2004. – С. 277 – 278.
14. Стыщенко Т.Е. Воздействие электромагнитных излучений на зрительный анализатор человека, средства защиты / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // Тезисы докладов на научно–методическую конференцию по БЖД, ноябрь 2005 г.: матеріали конф. – Харьков, 2005. – С. 113 – 114.
15. Стыщенко Т.Е. Оперативная система управления условиями труда / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // Межвузовская научно–техническая конференция «Психологічні та технічні проблеми безпеки праці, життя та здоров'я людини» 2005 г.: матеріали конф. – Полтава, 2005 г. – С. 18 – 19.

16. Стыщенко Т.Е. Безопасность человека при работе с компьютерами // Т.Е. Стыщенко 6 региональная методическая конференция НТУ ХПИ «Безопасность жизнедеятельности человека», г. Харьков, 06.12.2006 г. – С.76 – 77.
17. Стыщенко Т.Е. Расчет эффективности экранирования сплошными металлическими экранами// Т.Е. Стыщенко Тезисы докладов 7-й региональной научно-методической конференции «Безпека життєдіяльності», г. Харьков. – 2007. – НТУ ХПИ, 41 с.
18. Стыщенко Т.Е. Структура экспертной системы контроля и управления условиями труда / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // Тезисы докладов 8-й региональной научно-методической конференции «Безпека життєдіяльності», г. Харьков. – 2008. – НТУ ХПИ, г. Харьков. – 2008. – С. 132 – 133.
19. Стыщенко Т.Е. Уменьшение влияния электромагнитных полей на человека за счет применения поглощающих экранов // Т.Е. Стыщенко Тезисы докладов 7-й региональной научно-методической конференции «Безпека життєдіяльності», г. Харьков. – 2007. – НТУ ХПИ, С. 51 – 52.
20. Стыщенко Т.Е. Уменьшение влияния электромагнитных полей при помощи радиопоглощающих экранов // Т.Е. Стыщенко Тези доповідей 8-ї Міжвузівської науково-методичної конференції «Безпека людини в сучасних умовах» 4-5 грудня, НТУ ХПИ, м. Харків. – 2008 р. – 55 с.
21. Стыщенко Т.Е. Определение плотности потока энергии в специальных помещениях / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // Міжнародно-науково-методична конференція «Безпека людини в сучасних умовах», м. Харків, НТУ ХПІ 3 – 4 грудня, 2009 р. – С. 85 – 86.
22. Стыщенко Т.Е. К вопросу о разработке радиозащитных костюмов/ Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // Міжнародно-науково-методична конференція «Безпека людини в сучасних умовах», м. Харків, НТУ ХПІ 3 – 4 грудня, 2009 р. – С. 65 – 66.
23. Стыщенко Т.Е. К вопросу о нормировании комплекса вредных производственных факторов / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // II Міжнародна науково – методична конференція «Безпека людини в сучасних умовах», 2 – 3 грудня, 2010 р. – м. Харків. – С. 273– 274.
24. Стыщенко Т.Е. Некоторые вопросы защиты от воздействия электромагнитных полей / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // II Міжнародна науково-методична конференція «Безпека людини в сучасних умовах», 2 – 3 грудня, 2010 р. – м. Харків. – С. 229 – 231.
25. Стыщенко Т.Е. Эффективность экранирования – как средство обеспечения безопасности / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк // III Міжнародна науково-методична конференція «Безпека людини в сучасних умовах», 8– 9 грудня, 2011р. – м. Харків. – С. 166 – 168.
26. Стыщенко Т.Е. Безопасность человека – главная составляющая здоровья // Т.Е. Стыщенко VI Міжнародна науково-методична конференція «Безпека людини в сучасних умовах», 6–7 грудня, 2012р. – м. Харків. – С. 106 – 107.
27. Стыщенко Т.Е. Экономико-математическое моделирование систем безопасной жизнедеятельности / Т.Е. Стыщенко, Б.В. Дзюндзюк //

Международная научно–практическая конференция «Математическое моделирование процессов в экономике и управлении инновационными проектами» (ММП–2013), г. Харьков. – С. 54 – 55.

28. Стыценко Т.Е. Безопасность жизнедеятельности при использовании радиотехнических систем // Т.Е. Стыценко VI Міжнародна науково–методична конференція «Безпека людини в сучасних умовах», 4–5 грудня, 2014р. – м. Харків. – С. 285–287.

АНОТАЦІЯ

Стыценко Т.Є. Метод оцінки ефективності захисту медичного персоналу від впливу випромінювань надвисоких частот – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2017. Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальній науково– технічній задачі – розробці метода оцінки ефективності захисту медичного персоналу, удосконаленню існуючих методів та засобів захисту від впливу електромагнітного випромінювання.

В удосконалених моделях на відміну від відомих враховуються як паразитні випромінювання, число відбитих хвиль так і число зовнішніх джерел, які мають випадкові амплітуди і фази. Це дозволило визначити показники електромагнітного випромінювання в медичних приладах і системах.

Розроблена математична модель біологічної системи життєдіяльності і узагальнений критерій ефективності системи. Це дозволило характеризувати як всю систему, так і її окремі частини, що важливо при порівнянні декількох систем.

Визначення параметрів багат шарових покриттів при довільних кутах падіння електромагнітної хвилі дозволило розрахувати коефіцієнт поглинання при різних товщинах захисних матеріалів.

Ключові слова: хвиля, фаза, електромагнітне випромінювання, система життєдіяльності, критерій оцінки, коефіцієнт поглинання.

АННОТАЦИЯ

Стыценко Т. Е. Метод оценки эффективности защиты медицинского персонала от воздействия излучений сверхвысоких частот. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2017.

Диссертация посвящена решению актуальной научно–технической задачи разработке нового метода оценки эффективности защиты и совершенствовании существующих методов и средств защиты медицинского персонала от воздействия электромагнитного излучения.

В диссертационной работе проведен анализ существующих моделей, методов и средств защиты медицинского персонала от воздействия электромагнитного излучения. При усовершенствовании медицинской аппаратур, работающей в СВЧ диапазоне негативное влияние электромагнитных полей на организм человека может быть весьма значительным, особенно с учетом того, что электромагнитные излучения, проникая в системы жизнедеятельности организма, вызывают различные необратимые патологические процессы.

В усовершенствованных моделях в отличие от известных учитываются как паразитные излучения, число отраженных волн так и число внешних источников, имеющих случайные амплитуды и фазы. Это позволило определить показатели электромагнитного излучения для различных типов источников излучения и их интенсивности в медико–диагностических, лечебных, хирургических приборах и системах, а также в их отдельных частях.

Дальнейшее развитие решения задачи для определения параметров отражающих многослойных покрытий при произвольных углах падения электромагнитной волны, позволило рассчитать коэффициент поглощения при различных толщинах поглотителя.

Усовершенствованный метод расчета влияния электромагнитного излучения на организм человека, находящийся в защитной среде, позволил разработать систему защиты человека, которая обеспечивает равноэффективную защиту при воздействии СВЧ излучений по всему объему тела человека при обслуживании, ремонте и эксплуатации медицинских приборов и систем.

Разработаны функциональная, потенциальная и реальная модели, а также обобщенный критерий эффективности защиты биологической системы жизнедеятельности, который позволяет более качественно характеризовать как всю систему, так и ее отдельные части. Данный критерий построен с учетом стоимости системы, который позволяет при построении систем биологической защиты на основании общих моделей, получить расчетные формулы, связывающие вновь определенный критерий качества системы с параметрами, которые можно сравнительно легко измерить и нормировать из биологических и санитарных подходов, что и определяет практическую ценность работы.

Экспериментально доказано, что можно создать материал с наилучшими коэффициентами отражения и поглощения в широком диапазоне углов падения электромагнитной волны в нижней части частотного диапазона. Применение в материале отражающих элементов конусообразной формы, приводит к существенному возрастанию коэффициента поглощения. Это, в свою очередь, позволяет получить материал малой толщины в широком диапазоне длин волн.

Ключевые слова: волна, фаза, электромагнитное излучение, система жизнедеятельности, критерий, коэффициент поглощения.

ABSTRACT

Stytsenko T.E. Method to assess effectiveness of protection of medical staff from the action of extremely high electromagnetic frequencies' radiation – Qualification scientific paper as manuscript copyright.

Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.11.17 – Biological and medical devices and systems. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2017. The thesis is devoted to solution of important scientific and technical problem, which consists in the development of new and improvement of existing methods and means of medical personnel protection from electromagnetic radiation.

In the advanced models, in contrast to the known ones, both spurious radiation, the number of reflected waves and the number of external sources, that have random amplitude and phase, are considered. This made it possible to determine the indicators of electromagnetic radiation in medical devices and systems.

The mathematical model of the biomedical system of vital activity and the generalized statistical criterion were developed. This made it possible to characterize the system and its individual parts using a single number, which is important when comparing multiple systems.

Determination of the parameters of multilayer coatings with arbitrary angles of incidence of electromagnetic waves made it possible to calculate the absorption coefficient for various thicknesses of protective materials.

Keywords: wave, phase, electromagnetic radiation, system of vital activity, statistical criterion, absorption coefficient.

Підп. до друку 23.05.17. Формат 60×84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Облік. вид. арк. 1,1. Тираж 100 прим.
Зам. № 2-588. Ціна договірна.

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Науки, 14

Віддруковано в редакційно-видавничому
відділі ХНУРЕ
61166, м. Харків, просп. Науки, 14