



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76105

(13) C2

(51) МПК (2006)

G01N 27/00

G01N 27/14

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ БІОІНФОРМАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО
ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

1

(21) 2002108581

(22) 29.10.2002

(24) 17.07.2006

(46) 17.07.2006, Бюл. №7, 2006р.

(72) Головка Дмитро Богданович, Скрипник Юрій
Олексійович, Яненко Олексій Пилипович, Куценко
Володимир Петрович(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(56) UA C 28128 16.10.2000.

UA C 30048 15.01.2000.

UA C 42136 15.10.2001.

RU C1 2155084 27.08.2000.

(57) Спосіб визначення біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання від біологічних об'єктів, який полягає в тому, що від біологічного об'єкта приймають власне електромагнітне випромінювання, додатково опромінюють його зовнішнім електромагнітним випромінюванням, приймають від біологічного об'єкта відбите випромінювання разом з власним випромінюванням, порівнюють інтенсивності цих випромінювань і виділяють різницевий сигнал, який **відрізняється** тим, що спочатку нагрівають до температури біо-

2

логічного об'єкта фізичний об'єкт з властивостями, близькими до абсолютно чорного тіла, прийняте власне випромінювання перетворюють на постійну напругу, яку компенсують опорною постійною напругою, замінюють цей об'єкт на інший фізичний об'єкт з випромінювальною здатністю, близькою до випромінювальної здатності біологічного об'єкта, опромінюють інший фізичний об'єкт від зовнішнього джерела електромагнітного випромінювання, збільшують інтенсивність зовнішнього опромінювання до відновлення стану компенсації прийнятого і перетвореного у постійну напругу власного і відбитого випромінювань з опорною напругою, замінюють інший фізичний об'єкт на біологічний, послаблюють власне і відбите випромінювання до відновлення стану компенсації з опорною напругою, за значенням послаблення обчислюють коефіцієнт біоактивності об'єкта, за яким з урахуванням інтенсивності електромагнітного випромінювання абсолютно чорного тіла визначають інтенсивність біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання біологічного об'єкта.

Винахід відноситься до методів радіофізичного аналізу біологічних матеріалів і об'єктів і може використовуватись для визначення рівня біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання живих організмів у діапазоні надвисоких частот.

Живим організмам поряд з радіотепловим випромінюванням притаманне і біоінформаційне випромінювання у діапазоні надвисоких частот (НВЧ), яке генерується всіма клітинами живого організму [див. Скрипник Ю. О., Манойлов В. П., Яненко О. П. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону. - Житомир: ЖІТІ. - 2001. - С. 41-43]. Біоінформаційне випромінювання, яке забезпечує інформаційний обмін між клітинами живого організму, слабкіше, ніж радіотеплове випромінювання і носить стохастичний характер за

межами біооб'єкта та за спектром подібно до широкосмугових шумових сигналів [див. Яшин А. А. Информационно-полевая самоорганизация биосистем // Вестник новых медицинских технологий. - Тула. - 2000. - Т.7, №1.-С.30-38].

Відомий спосіб визначення біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання від біологічних об'єктів [див. Дубовская И. Г., Житник Н. Е., Миронов А. В. и др. Принципы моделирования схемотехнической реализации низкоинтенсивной КВЧ-диагностической и терапевтической аппаратуры // Вестник новых медицинских технологий. - Тула. - 1996. - Т.3, №2. - С.85-90], при якому опромінюють монохроматичним НВЧ-сигналом поверхню біооб'єкта, приймають відбитий сигнал, виділяють з нього сигнал вторинного випромінювання об'єкта на одній з комбінаційних

(13) C2

(11) 76105

(19) UA

частот, які виникають у результаті змішування опромінюючого сигналу з гармоніками сигналів біоритмів живого організму і вимірюють амплітуду низькочастотної складової комбінаційних частот.

Однак в результаті прийому разом з відбитим сигналом і частини широкосмугового радіотеплового випромінювання біологічного об'єкта виникають паразитні комбінаційні складові у прийнятому сигналі, що спричиняє велику похибку у визначенні біоінформаційної складової випромінювання.

Відомий також спосіб визначення біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання від біологічного об'єкта за патентом України [№ 28128 Кл. G01N33/483, 2000], який полягає в тому, що від біологічного об'єкта приймають власне електромагнітне випромінювання, додатково опромінюють його зовнішнім електромагнітним випромінюванням, приймають від об'єкта відбите випромінювання разом з власним випромінюванням, порівнюють інтенсивності цих випромінювань і виділяють різницевий сигнал.

Крім того, відомий спосіб включає операції перенесення спектра прийнятих імпульсів первинного і вторинного випромінювання від біологічного об'єкта на проміжну різницеву частоту і порівняння амплітуд продетектованих імпульсів з наступним виділенням низькочастотної огинаючої.

Завдяки прийому відбитого зонduючого сигналу з розширеним спектром за рахунок бокових частин, які виникають як продукти взаємодії з сигналами біоритмів у нелінійному середовищі біооб'єкта, можна отримати інформацію про біоінформаційну складову.

Однак тільки у високорозвинутих організмів зафіксовані біоритми. Тому при аналізі багатьох біологічних об'єктів, починаючи з простіших, розширення спектра зонduючого сигналу не спостерігається. Крім того, навіть у високорозвинутих біооб'єктів присутність власного радіотеплового випромінювання викликає появу комбінаційних складових у спектрі відбитого сигналу, що знижує інформаційну здатність відомого способу.

Завданням запропонованого винаходу є створення такого способу визначення біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання від біологічного об'єкта, в якому шляхом введення нових операцій, забезпечилося б підвищення інформаційної здатності, чутливості і точності вимірювання інтенсивності біоінформаційної складової біологічних об'єктів різної структури.

Поставлене завдання досягається тим, що у способі визначення біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання від біологічного об'єкта, який полягає в тому, що від біологічного об'єкта приймають власне електромагнітне випромінювання, додатково опромінюють його зовнішнім електромагнітним випромінюванням, приймають від біологічного об'єкта відбите випромінювання разом з власним випромінюванням, порівнюють інтенсивності цих випромінювань і виділяють різницевий сигнал, згідно з винаходом спочатку нагрівають до температури біологічного об'єкта фізичний об'єкт з властивостями, близькими до абсолютно чорного тіла, прийняте власне випромінювання перетворюють у постійну напругу, яку компенсують опорною постійною напругою,

замінюють цей об'єкт на інший фізичний об'єкт з випромінювальною здатністю, близькою до випромінювальної здатності біологічного об'єкта, опромінюють інший фізичний об'єкт від зовнішнього джерела електромагнітного випромінювання, збільшують інтенсивність зовнішнього опромінювання до відновлення стану компенсації прийнятого і перетвореного у постійну напругу власного і відбитого випромінювань з опорною напругою, замінюють інший фізичний об'єкт на біологічний, послаблюють власне і відбите випромінювання до відновлення стану компенсації з опорною напругою і за значенням послаблення обчислюють коефіцієнт біоактивності об'єкта, за яким з урахуванням інтенсивності електромагнітного випромінювання абсолютно чорного тіла визначають інтенсивність біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання біологічного об'єкта.

Саме нагрів фізичного об'єкта з властивостями АЧТ до температури досліджуемого біологічного об'єкта, перетворення його електромагнітного випромінювання у постійну напругу, яка компенсується опорною напругою, заміна цього фізичного об'єкта на інший фізичний об'єкт з випромінювальною здатністю, близькою до випромінювальної здатності біологічного об'єкта, додаткове його опромінювання від зовнішнього джерела електромагнітного випромінювання, прийом та перетворення у постійну напругу власного і відбитого випромінювань, встановлення інтенсивності зовнішнього опромінювання на рівні, при якому відновлюється стан компенсації порівнюваних постійних напруг, заміна іншого фізичного об'єкта досліджуванним біологічним, послаблення власного і відбитого випромінювання до перетворення сумарного випромінювання у постійну напругу, збільшення ослаблення до відновлення стану компенсації перетвореного сумарного випромінювання і опорної напруги, обчислення коефіцієнта біоактивності об'єкта за значенням введенного послаблення і визначення інтенсивності біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання від біологічного об'єкта за випромінюванням АЧТ забезпечує за рахунок усунення впливу параметрів вимірювальної системи і вилучення впливу фону теплового електромагнітного випромінювання досліджуваного біооб'єкта підвищення інформаційної здатності, чутливості і точності вимірювання біологічних об'єктів різної структури.

На кресленні наведена функціональна схема вимірювальної системи для здійснення запропонованого способу.

Позицією 1 позначений узгоджений з антеною контейнер з досліджуваним об'єктом, 2 - термостат, 3 - радіопрозо́ре ві́кно, 4 - приймально-випромінювальна антена, 5 - хвилевод, 6 - циркулятор, 7 - генератор надвисокочастотного шуму, 8, 9 - атенуатори, 10 - радіометр, 11 - блок порівняння, 12 - джерело опорної постійної напруги, 13 - подільник напруги та 14 - індикатор.

Антена 4 через хвилевод 5 з'єднана з одним входом циркулятора 6, другий вхід якого сполучений з генератором НВЧ-шуму 7 через атенуатор 8. Вихід циркулятора через атенуатор 9 під'єднаний до входу радіометра 10, вихід якого сполуче-

ний з одним входом блоку порівняння 11, а другий вхід - з джерелом постійної напруги 12 через подільник напруги 13. До виходу блока порівняння під'єднаний індикатор 14.

Спосіб працює за таким принципом:

Спочатку в контейнер вміщують фізичний (неживий) об'єкт 1, який за випромінювальною здатністю близький до АЧТ (наприклад, сажу або платинову чернь), а контейнер розмішують у термостат 2, в якому підтримується температура життєздатності біологічного об'єкта (35-40°). У встановлений термодинамічний рівновазі нагрітий об'єкт випромінює електромагнітну енергію у широкому спектрі частот. В діапазоні надвисоких частот випромінювальна здатність В фізичного об'єкта визначається законом Релея-Джинса

$$V = \frac{2f^2}{C^2} kT\beta, \quad (1)$$

де f частота випромінювального коливання;

C - швидкість розповсюдження електромагнітних коливань у вакуумі;

k - постійна Больцмана;

T - термодинамічна температура;

β - коефіцієнт випромінювальної здатності.

Для АЧТ коефіцієнт $\beta=1$. Тому фізичний об'єкт, який має властивості АЧТ, випромінює найбільшу енергію при заданій температурі об'єкта $T_0=\text{const}$. Це випромінювання через радіопрозорне вікно 3 надходить на антену 4. Коливання НВЧ через хвилевод 5 і циркулятор 6 надходить на вхід радіометра 10, який перетворює потужність коливань НВЧ в напругу постійного струму. В обмеженій смузі частот фізичний об'єкт з випромінювальною здатністю (1) випромінює потужність НВЧ-коливань

$$P_1 = k\Delta f T_0, \quad (2)$$

де Δf - ширина смуги пропускання тракту радіометра.

Спектральна щільність потужності радіовипромінювання при температурі життєздатності біологічних об'єктів досить мала (10^{-19} - 10^{-20} Вт/Гц•см²) і набагато менша від рівня власних шумів підсилювачів та інших елементів радіометра. Виділення слабкого радіотеплового випромінювання фізичного об'єкта із шумового фону радіоприймального тракту здійснюють за допомогою спеціальних схем радіометра 10. При цьому потужність, яка надходить на антену 4 від генератора 7 НВЧ-шуму випромінюється у напрямку об'єкта і, повністю ним поглинається і в радіометр 10 не потрапляє.

Чутливість радіометра залежить від рівня його власних шумів і визначається виразом:

$$\Delta T_{\text{ш}} = \frac{\Delta T_{\text{ш}}}{\sqrt{\Delta f \cdot \tau}}, \quad (3)$$

де $T_{\text{ш}}$ - шумова температура системи антена-радіометр;

$\Delta T_{\text{ш}}$ - приріст шумової температури під впливом енергії НВЧ-коливань, які приймаються;

τ - час накопичення (усереднення) вихідної напруги радіометра.

Шумова температура $T_{\text{ш}}$ характеризує сумарну потужність фонового випромінювання, яке зби-

рається антеною від сторонніх об'єктів, власних шумів антени і приймальної частини радіометра залежно від термодинамічної температури і смуги частот:

$$P_{\text{ш}} = k\Delta f T_{\text{ш}}, \quad (4)$$

Таким чином, потужність $P_{\text{ш}}$ визначає паразитний шумовий фон, із якого радіометр виділяє корисний приріст шумової температури $\Delta T_{\text{ш}}$.

У модуляційному радіометрі завдяки виключенню впливу як високочастотних, так і низькочастотних шумів, найінтенсивніших у межах нульової частоти, приріст вимірювальної температури $\Delta T_{\text{ш}}$ становить 0,05-0,01К, що дозволяє фіксувати досить слабке радіотеплове випромінювання на рівні $10^{-21} \dots 10^{-22}$ Вт/Гц•см².

У радіометрі 10 потужність НВЧ-коливань (2) перетворюється на пропорційну постійну напругу

$$U_1 = S_P P_1 = S_P k T_0 \Delta f, \quad (5)$$

де S_P - крутизна перетворення каналу радіометра.

Вихідну напругу радіометра U_1 компенсують напругою U_0 від джерела опорної постійної напруги 12. Компенсуючу напругу U_2 створюють, збільшуючи коефіцієнт передачі подільника напруги 13 до досягнення нульового показання індикатора 14. При досягненні компенсації

$$U_1 - U_2 = U_1 - K_1 U_0 = 0, \quad (6)$$

де K_1 - коефіцієнт передачі подільника напруги 13.

Потім фізичний об'єкт в контейнері 1 у вигляді АЧТ замінюють на фізичний об'єкт з коефіцієнтом випромінювальної здатності, близьким до коефіцієнта досліджуваного біологічного об'єкта. Після досягнення термодинамічної рівноваги об'єкта з термостатом потужність його радіотеплового випромінювання буде меншою, ніж у АЧТ, оскільки у реальних об'єктів $\beta < 1$. При цьому порушиться умова компенсації у блоці 11 і показання індикатора 14 зросте. Однак НВЧ-шум від генератора 7 через циркулятор 6 і хвилевод 5 надходить на антену 3 і не повністю поглинається об'єктом 1. Коефіцієнт відбиття реального об'єкта однозначно зв'язаний з його випромінювальною здатністю. Якщо $\beta=1$, то опромінює тіло, як згадувалось вище, повністю поглинає електромагнітну енергію і його коефіцієнт відбиття $\Gamma=0$. Тому можна вважати, що коефіцієнт відбиття реальних фізичних об'єктів

$$\Gamma = 1 - \beta, \quad (7)$$

Відбитий від об'єкта 1 НВЧ-шум приймається антеною 4 і через циркулятор 6 надходить на вхід радіометра 10, де сумується із власним шумовим радіотепловим випромінюванням фізичного об'єкту 1.

$$P_2 = k\Delta f T_0 \beta < P_1, \quad (8)$$

Сумарна потужність випромінювання об'єкта і відбитого зовнішнього опромінювання, які надходять на радіометр, з урахуванням того, що вони між собою не корельовані, становитиме:

$$P_3 = k\Delta f T_0 \beta + \left(1 - \beta\right) K_2 P_7 \Delta f, \quad (9)$$

де P_7 - потужність генератора шуму 7;

K_2 - коефіцієнт передачі атенюатора 8 за потужністю.

Збільшенням коефіцієнта передачі K_2 атенюатора 8 показання індикатора 14 знову доводять до нульового. Це означає, що раніше прийняте електромагнітне випромінювання від АЧТ і аналогічне випромінювання від об'єкта з деяким коефіцієнтом відбиття ($\Gamma \neq 0$) і додатковим опромінюванням за потужністю дорівнюють ($P_1 = P_3$):

$$k\Delta f T_0 = k\Delta f T_0 \beta + (1 - \beta) K_1 P_1 \Delta f, \quad (10)$$

Далі замість фізичного (неживого) об'єкта у контейнер вміщують біологічний (живий) об'єкт і контейнер установлюють в термостат. Завдяки метаболічним процесам, які протікають у живому організмі, виникає додаткове електромагнітне випромінювання, що генерується клітинами. Оскільки клітин в організмі багато, а частоти і амплітуди клітинних струмів різні, то результуюче біоінформаційне випромінювання у навколишнє середовище має шумовий характер і за спектром аналогічне рівноважному тепловому випромінюванню. Оскільки швидкість метаболічних процесів у живому організмі пропорційна температурі тканин і органів, то спектральну щільність потужності біоінформаційного випромінювання можна розглядати в аналітичному вигляді як

$$S_{B1} = \chi k T_0, \quad (11)$$

де χ - коефіцієнт біоактивності живого організму.

Тому потужність електромагнітного випромінювання, яка надходить від біологічного об'єкта в антену

$$P_4 = P_2 + S_{B1} \Delta f = k T_0 (1 + \chi) \Delta f, \quad (12)$$

З урахуванням додаткового опромінювання біологічного об'єкта потужність електромагнітного випромінювання, що надходить на радіометр

$$P_5 = k T_0 (1 + \chi) \Delta f + (1 - \beta) K_2 P_1 \Delta f, \quad (13)$$

Оскільки потужність $P_5 > P_3$, то показання індикатора 14 знову зростає відносно до нуля. За допомогою атенюатора 9 послаблюють потужність P_5 і досягають відновлення нульового показання індикатора 14. При цьому матиме місце рівність

$$K_3 \Delta f [T_0 (1 + \chi) + (1 - \beta) K_2 P_1] = k T_0 \Delta f, \quad (14)$$

де K_3 - коефіцієнт передачі атенюатора 9.

Вираз (14) можна представити як

$$K_3 \chi k T_0 \Delta f + K_3 \Delta f [T_0 \beta + (1 - \beta) K_2 P_1] = k T_0 \Delta f, \quad (15)$$

Якщо замість суми другого і третього членів рівності (15) підставити значення цієї суми із виразу (10), то отримаємо

$$K_3 \chi k T_0 \Delta f + K_3 k T_0 \Delta f = k T_0 \Delta f, \quad (16)$$

або

$$K_3 \chi + K_3 = 1, \quad (17)$$

Обчислюючи рівність (17) відносно коефіцієнта біоактивності, отримуємо

$$\chi = \frac{1 - K_3}{K_3}, \quad (18)$$

Знаючи коефіцієнт χ об'єкта можна визначити і потужність біоінформаційної складової електромагнітного випромінювання від нього. Для цього можна скористатися формулою (11) і врахувати

смуку частот Δf радіометра:

$$P_{B1} = S_{B1} \Delta f = \chi k T_0 \Delta f = \chi P_1, \quad (19)$$

Потужність випромінювання АЧТ P_1 легко розрахувати за відомою температурою T_0 досліджуваного біологічного об'єкта, постійної Больцмана k і після прийому радіометра Δf .

Із виразу (18) видно, що на значення коефіцієнта біоактивності не впливають непостійність чутливості радіометра S_P , похибки коефіцієнта ділення K_1 дільника напруги 13, коефіцієнта передачі K_2 атенюатора 8, а також нестабільності потужності P_1 генератора надвисоко частотного шуму 7. Завдяки цьому підвищується точність і чутливість запропонованого способу. Відсутність вимог до наявності біоритмів у живому організмі підвищує інформаційну здатність цього способу.

Можлива також оцінка рівня біоінформаційного випромінювання, починаючи від простіших одноклітинних організмів тваринного і рослинного походження, впритул до високорозвинутих організмів, наприклад, людини.

Приклад. Досліджувалось низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання мікроорганізмів у діапазоні міліметрових хвиль. Як мікроорганізми використовувались синьо-зелені водорості і бактерії двох штамів: *Pseudomonas fluorescens* B5040 і *Alcaligenes eutrophus* C434. Клітини бактерій вирощувалися глибинним способом у колбах Ерленлейра в живильному водному середовищі. Бактерії згущали центрифугуванням і відмивали у свіжому живильному середовищі.

Для визначення рівня електромагнітного випромінювання живих бактерій їхні клітини вміщували в контейнер. За радіометр використовувалися модуляційний радіометр з гетеродинним перетворенням НВЧ-коливань на діапазон частот 54-78 ГГц. Попередньо в контейнер насипали сажу і вміщували його в термостат з температурою 309 К. Вихідну напругу радіометра компенсували від джерела опорної напруги. Потім замість сажі в контейнер заливали живильний розчин без бактерій і опромінювали розчин від НВЧ-генератора Г4-142 через циркулятор з направленістю не менше 30 дБ. Антену у вигляді пірамідального хвилеводного рупора з апертурою 2 см^2 підводили зверху впритул до радіопрозорого вікна контейнера. Атенюатором в ланцюгу генератора відновлювали компенсацію вихідної напруги радіометра. Далі в контейнер вмішували клітинну суспензію означених бактерій і атенюатором на вході радіометра домагалися відновлення нульового показання індикатора. За показаннями атенюатора обраховували коефіцієнт біоактивності χ .

Результати досліджень показали, що χ бактерій обох видів змінювався від 0,36 до 0,53, причому максимальне значення χ спостерігалось на частоті 54 ГГц, що відповідало інтенсивності біоінформаційної складової випромінювання порядку $(4 \dots 7) \cdot 10^{-15} \text{ Вт/см}^2$ у смузі частот 200 МГц. Для порівняння синьо-зелені водорості мали коефіцієнт χ тільки 0,15-0,17 і відповідно нижче біоінформаційне випромінювання.

