Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Хвостівський Микола Орестович

УДК 519.218:617.73

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАКРОМЕХАНІЗМУ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОРЕТИНОСИГНАЛУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОФТАЛЬМОДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ

01.05.02 – *Математичне моделювання та обчислювальні методи*

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор фізико-математичних наук, професор
Драґан Ярослав Петрович,
Національний університет „Львівська політехніка”,
професор кафедри програмного забезпечення
автоматизованих систем, м.Львів

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
Щербак Леонід Миколайович,
Національний авіаційний університет, професор
кафедри інформаційно-вимірювальних систем
м.Київ

доктор технічних наук, професор
Овсяк Володимир Казимирович,
Українська академія друкарства, професор кафедри
автоматизації та комп’ютерних технологій,
М.Львів

Захист відбудеться ”___”_____2010 р. о ”____” год. ”____” хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради **К 58.052.01** в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя (46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 79).

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56

Автореферат розісланий ”___”_____2010 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради К 58.052.01 Шелестовський Б.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зоровий аналізатор займає основне місце серед інших сенсорів людського організму, забезпечуючи сприймання близько 85% інформації з навколишнього середовища. Суцільна комп'ютеризація, погана екологія та пасивний спосіб життя є тими факторами, які спричиняють негативний вплив на його стан. Тому важливим завданням сучасної медицини є рання діагностика та запобігання очних захворювань не тільки в Україні, але й у всьому світі.

На актуальність діагностики зорової системи за електроретиносигналом (ЕРС), який є відгуком сітківки ока людини на світловий спалах, вказували автори багатьох робіт медичного спрямування (Шамшинова А.М., Волкова В.В., Богословський А.И., Бизов А.Л., Зіслина Н.Н., Миронова Е.М., Karpe G., Henkes H., Kato M., та ін.), оскільки установлено, що регулярна діагностика стану сітківки ока за електроретиносигналом, дає змогу виявити в ній функціональні зміни на ранній стадії і своєчасно провести профілактичні заходи для реабілітації, а у випадку патологічних порушень запобігти розвиткові хвороби відповідним лікуванням. Ефективність вибору профілактично-терапевтичних заходів залежить від належного використання офтальмодіагностичної системи, яка має базуватись на адекватній математичній моделі і дати змогу автоматизовано з високою точністю та достовірністю визначити місце ураження і відстежити динаміку перебігу хвороби.

Відома, крім детермінованого трактування (Яворський Б.І., Юзьків А.В.), низка праць Ткачука Р.А., Паламара М.І., Мацюка О.В. та Рілка А.Д., в яких для опису електроретиносигналу застосовано стохастичні моделі (лінійний випадковий процес та адитивну суміш детермінованої і випадкової складових). Проте ці моделі не дають змогу врахувати у своїй структурі статистичну взаємопов'язаність між різними відгуками однієї і тієї ж серії спостережень, що є важливим при дослідженні змін фазово-часової структури електроретиносигналу з метою виявлення моменту прояву ранніх змін у функціонуванні сітківки ока.

Наведені аргументи вказують на актуальність удосконалення математичної моделі електроретиносигналу та розроблення методу аналізу її для автоматизованих систем комп'ютерної офтальмодіагностики, зорієнтованих на підвищення достовірності ранньої діагностики функціонального стану сітківки ока людини шляхом впровадження в область офтальмології нового класу інформативно-достовірних ознак, базуючись на моделі ритміки у вигляді імпульсного періодично корельованого випадкового процесу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертаційної роботи пов'язана із загальним напрямком роботи кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, зокрема із науковою темою ВК 20-06, „Дослідження методів та засобів виявлення евентуальних, циклічних та ритмічних біосигналів", номер державної реєстрації № 0106U002062, 2006-2007 р.р Вклад автора полягає у розробці програмного забезпечення та статистичного опрацювання евентуальних біосигналів та проведенні серії статистичних експериментів.

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження* є удосконалення математичної моделі електроретиносигналу, яка враховує макромеханізм

формування його, та розроблення методів аналізу електроретиносигналу, сформованих на базі цієї моделі, для підвищення достовірності офтальмодіагностичних систем. Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Провести аналіз відомих математичних моделей електроретиносигналів та методів опрацювання їх для обґрунтування напрямку наукового дослідження.
2. Удосконалити математичну модель електроретиносигналу, яка враховує у своїй структурі статистичну взаємопов'язаність між різними відгуками однієї і тієї ж серії спостережень, для розв'язання задач оперативного та достовірного виявлення змін стану сітківки ока на ранніх стадіях її захворювання.
3. Обґрунтувати методи статистичного опрацювання та комп'ютерного імітаційного моделювання електроретиносигналу на основі цієї математичної моделі з метою виявлення нових інформативно-достовірних ознак.
4. Обґрунтувати застосовність цих нових інформативних ознак електроретиносигналу в автоматизованих системах комп'ютерної офтальмодіагностики і спосіб обчислення оцінки достовірності отриманих результатів.
5. Розробити програмне забезпечення для проведення експериментальних досліджень електроретиносигналів групи пацієнтів з метою верифікації удосконаленої математичної моделі та статистичних методів її опрацювання.

Об'єкт дослідження: процес моделювання електроретиносигналу з урахуванням періодичності макромеханізму його формування.

Предмет дослідження: математична модель макромеханізму формування електроретиносигналу у вигляді імпульсного періодично корельованого випадкового процесу та її властивості і можливості для підвищення достовірності офтальмодіагностичних систем.

Методи дослідження побудовано на базі енергетичної теорії стохастичних сигналів (ЕТСС), зокрема імпульсного подання періодично корельованого випадкового процесу для удосконалення математичної структури електроретиносигналу і оцінювання його параметрів та статистичної теорії вибору рішень при верифікації математичної моделі електроретиносигналу. Для програмної реалізації алгоритмів опрацювання використано пакет прикладних програм MATLAB 7.0.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше розроблено спосіб подання електроретиносигналу у вигляді ансамблю як періодичне продовження його, що забезпечило можливість врахувати взаємокореляційні зв'язки між різними реакціями сітківки ока для однієї і тієї ж серії спостережень.
2. Вперше на основі аналізу макромеханізму формування електроретиносигналу обґрунтовано математичну модель у вигляді імпульсного періодично корельованого випадкового процесу, що уможливило врахування статистичної взаємопов'язаності між різними відгуками однієї і тієї ж серії спостережень та розширило інформативність результатів опрацювання електроретиносигналу.

3. Вперше застосовано нові в області діагностики стану сітківки ока інформативні ознаки електроретиносигналу – спектральні компоненти, які відповідають функціональному станові сітківки ока людини.
4. Розроблено метод імітаційного моделювання електроретиносигналу на основі удосконаленої математичної моделі, який підтвердив добре узгодження комп'ютерного експерименту з емпіричними даними.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що на базі запропонованої моделі електроретиносигналу удосконалено відомі методи його аналізу, які дають змогу підвищити достовірність та розширити можливості автоматизованих офтальмодігностичних систем шляхом впровадження в область офтальмодіагностики нового класу достовірних інформативно-інваріантних ознак, що ними є спектральні компоненти. Побудована комп'ютерна імітаційна модель електроретиносигналу придатна для тестування алгоритмів опрацювання даних, отриманих у лікувальних установах.

Результати дисертаційного дослідження використанні в навчальному процесі на кафедрі нормальної фізіології Тернопільського державного медичного університету ім. І.Я.Горбачевського.

Особистий внесок. Основні результати, які становлять суть дисертаційної роботи, отримані дисертантом самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

- у роботах [1,8,9] – метод, який дає можливість оперативно із заданою достовірністю виявити електроретиносигнал у суміші із завадами;
- у роботах [2,10] – комп'ютерна імітаційна модель електроретиносигналу у вигляді синусоїди з експонентційним затуханням на характерних часових рівнях;
- у роботах [3,11] – обґрунтування математичної моделі електроретиносигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу;
- у роботі [4] – комп'ютерна імітаційна модель електроретиносигналу на основі періодично корельованої випадкової послідовності;
- у роботах [5,12] – застосування синфазного методу аналізу для визначення інформативних ознак електроретиносигналу без урахування взаємокореляційних зв'язків між стаціонарними компонентами;
- у роботі [6] – застосування компонентного методу аналізу для визначення інформативно-достовірних ознак електроретиносигналу;
- у роботі [7] – застосування синфазного методу аналізу для визначення інформативних ознак електроретиносигналу з урахуванням взаємокореляційних зв'язків між стаціонарними компонентами;
- у роботі [13] – порівняння синфазного та компонентного методів аналізу електроретиносигналу на базі його математичної моделі у вигляді періодично корельованого випадкового процесу;
- у роботі [14] – застосування критерію Неймана-Пірсона для оцінювання достовірності результатів опрацювання електроретиносигналу для періодично корельованого випадкового процесу;

Апробація результатів дисертації. Викладені в дисертаційній роботі результати доповідалися і обговорювалися на дев'ятій, десятій, одинадцятій та дванадцятій науково-технічних конференціях Тернопільського державного

технічного університету імені Івана Пулюя м. Тернопіль, 2005-2009 р.р., на п'ятій міжнародній науково-практичній конференції „Комп'ютерні системи в автоматизації виробничих процесів", м. Хмельницький, 2007 р., п'ятій міжнародній конференції „Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем" (Київ-Чернігів), 2008 р., щорічних наукових семінарах кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

В цілому роботу апробовано у Національному технічному університеті імені Івана Пулюя (м. Тернопіль), Національному технічному університеті (м. Чернівці) та Національному університеті „Львівська політехніка" (м. Львів).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць, 6 із них – статті у наукових фахових виданнях [1-6], 8 тез наукових конференцій [7-14]. Праці [5,6,7,9,11,12,14] опубліковано без співавторів.

Структура та обсяг. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, викладених на 91 сторінках, списку використаних джерел з 137 назв на 13 сторінках, додатків на 16 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 127 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі шляхом аналізу та порівняння відомих математичних моделей з новою обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розкрито питання апробації результатів дисертації на конференціях і семінарах та висвітлення їх у друкованих працях.

У першому розділі описано стан дослідження і використання електроретиносигналів, мікромеханізм (фізичну природу) породження сигналів сітківки ока людини. Проведено порівняльний аналіз та класифікацію відомих математичних моделей електроретиносигналів та методів аналізу їх, використовуваних для задач автоматизованої діагностики функціонального стану сітківки ока людини. Результати порівняльної характеристики відомих математичних моделей електроретиносигналів, отримані в даній роботі, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика математичних моделей електроретиносигналів

	Відомі математичні моделі електроретиносигналів			**Удосконалена математична модель**
	Детермінована	**Стохастична**		
	Детермінована функція	Детермінована функція + стаціонарний випадковий процес	Лінійний випадковий процес	Імпульсний періодично корельований випадковий
Враховує випадковий характер	-	+	+	+
Враховує періодичність	-	-	+	+
Дає змогу проводити морфоаналіз	+	+	+	+
Враховує статистичну взаємопов'язаність між різними реакціями сітківки ока	-	-	-	+
Дає змогу проводити комп'ютерне імітаційне моделювання	+	+	+	+

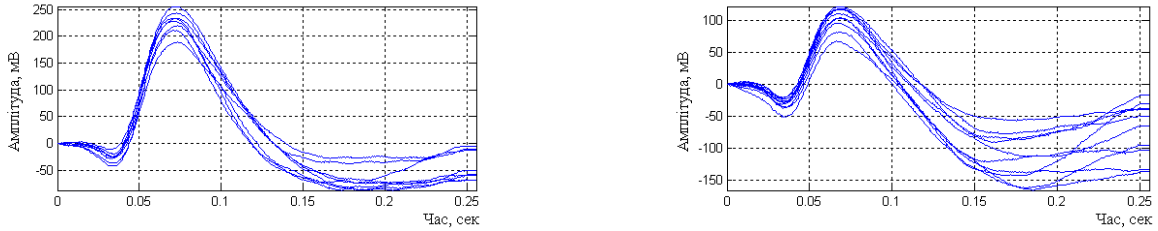
Результати огляду відомих моделей показали, що існує два підходи до побудови математичних моделей та методів аналізу ЕРС - детермінований та стохастичний. Найпростіші методи опрацювання ЕРС ґрунтуються на дослідженні амплітудно-часових характеристик екстремальних точок (максимумів і мінімумів). За математичну модель в такому випадку використано детерміновану функцію, яка описує ЕРС у межах одного періоду (Яворський Б.І., Юзьків А.В.). Значною мірою наведений детермінований підхід удосконалено при використанні стохастичного підходу щодо побудови математичної моделі ЕРС. Перші кроки у цьому напрямку було зроблено Ткачуком Р.А., Мацюком О.В., Паламаром М.І., Рілком А.Д. Математичною моделлю ЕРС у цих роботах вважають лінійний випадковий процес та адитивну суміш детермінованої і випадкової складових. Проте ці стохастичні моделі ЕРС не враховують у своїй структурі поєднання властивостей стохастичності із періодичністю, що є властивим для будь-якого біосигналу.

За результатами проведеного порівняльного аналізу відомих математичних моделей електроретиносигналів установлено, що ці моделі мають недоліки, а тому є необхідність удосконалення моделі електроретиносигналів та розроблення методів аналізу їх на її основі для розв'язання задач оперативного і достовірного виявлення змін стану сітківки ока людини на ранніх стадіях захворювання для офтальмодіагностичних систем.

Враховуючи специфіку поставлених задач, відомі підходи до їх розв'язання та особливості досліджуваного сигналу, сформульовано вимоги до удосконаленої математичної моделі ЕРС.

У другому розділі проаналізовано характеристики електроретиносигналу з позицій детермінованого та стохастичного (методами теорії стаціонарних випадкових процесів) підходів. Враховуючи результати аналізу та макромеханізм формування електроретиносигналу (подання у вигляді ансамблю, як періодичне його продовження) обґрунтовано вибір його математичної моделі у вигляді імпульсного періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП).

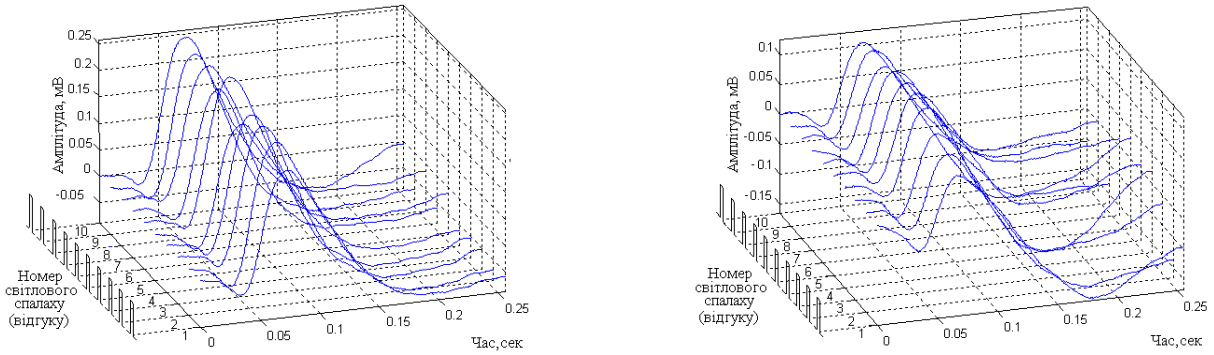
На рис.1 зображено експериментально зареєстровані системою „ДСЗО-1" (Україна, розробники - Ткачук Р.А., Паламар М.І., Мацюк О.В.) електроретиносигнали сітківки ока пацієнтів з нормою та патологією (центральна дегенерація сітківки ока).



а) б)

Рис.1. Зареєстровані електроретиносигнали системою ДСЗО-1:
(а) – пацієнт А в нормі; (б) – пацієнт Б з патологією

Для обґрунтування математичної моделі використано 10 реалізацій (відгуків) ЕРС, які паралельно розкладено за порядковим номером спалаху (рис. 2).

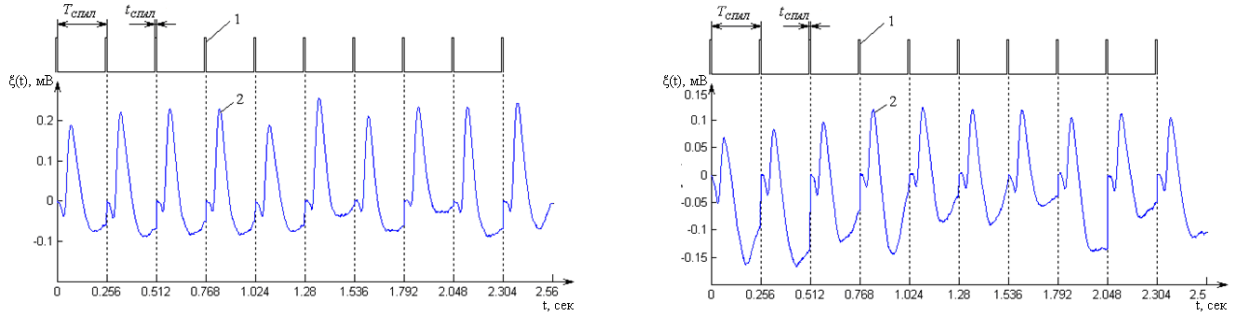


(а) (б)

Рис. 2. Розклад ЕРС відповідно до номеру світлового спалаху:
(а) – пацієнт А в нормі; (б) – пацієнт Б із патологією

Відповідно до методики реєстрації сигналу, ЕРС є відгуком сітківки того самого ока на серію світлових спалахів, які у своїй структурі з випадковістю неявно поєднують періодичність, тому ці відгуки ЕРС зображено на одній осі часу у вигляді ансамблю як періодичне його продовження (макромеханізм формування), що дає можливість побачити залежність зміни у часі відгуку сітківки ока від спалаху до спалаху.

На рис.3. зображено ЕРС на одній осі часу в залежності від світлових спалахів, де 1 – крива показує момент часу світлового спалаху (відповідно до умов проведення реєстрації ЕРС спалах є періодичним), 2 – електроретиносигнал враховує періодичність спалахів, яка забезпечує однаковість фаз процесу породження сигналу через інтервал часу, рівний фіксованому періодові спалаху.



(а) (б)

Рис. 3. Зображення ЕРС на одній осі часу при часовій періодичності світлових спалахів (макромеханізм формування):
(а) – пацієнт А в нормі; (в) – пацієнт Б із патологією

Оскільки при реєстрації проведених досліджень, світлові спалахи подаються періодично із заданим періодом $T_{\tilde{N}\ddot{I}\grave{A}\ddot{E}}$ та тривалостями ($t_{СПАЛ}$), тому відгук сітківки ока (реакція на спалах) також буде містити періодичність властивостей із тим самим періодом $T_{СПАЛ}$.

Враховуючи такий макромеханізм формування, ЕРС подано як множину відгуків, зсунутих у часі один відносно одного на сталий період $T = T_{СПАЛ}$ у вигляді:

$$\xi(t) = \sum_{k \in Z} \chi_{D_k}(t) \cdot \xi_{\hat{a}^3\ddot{a}\ddot{a}\acute{o}\hat{e}_k}(t - kT), \quad t \in R, \qquad (1)$$

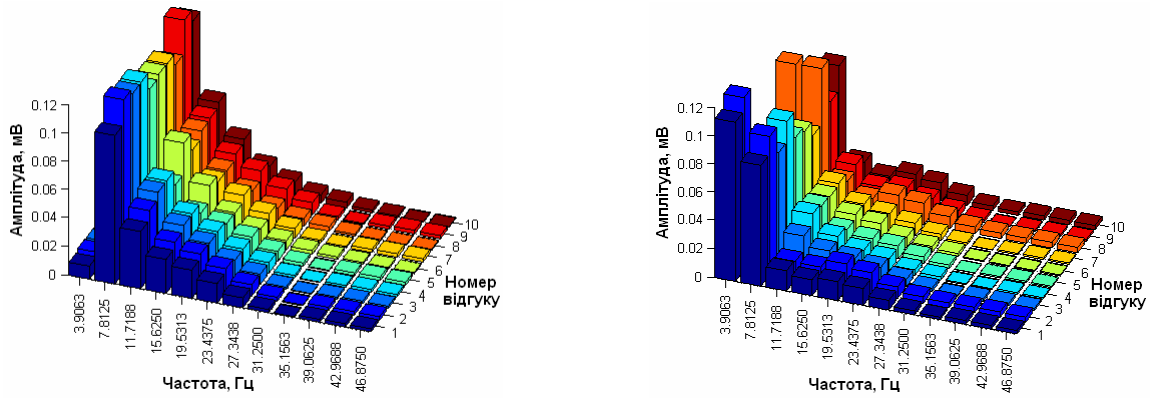
де $\chi_{D_k}(t)=\begin{cases}1, \text{ÿêùî } t\in D_k\\ 0, \text{ÿêùî } t\notin D_k\end{cases}$ - індикаторна функція множини D_k;

$D_k=[kT,(k+1)T)$ - часовий діапазон тривалості k-го відгуку $\xi_{â^3äâóê_k}(t), t\in[0,T)$;

T - тривалість одного відгуку ЕРС.

Зображення ансамблю ЕРС у вигляді його періодичного продовження враховує у своїй структурі поєднання властивостей періодичності із стохастичністю, і тим самим дає можливість врахувати статистичні взаємозв'язки між різними реакціями сітківки ока однієї і тієї ж серії спостережень, що неможливе в разі традиційного подання однотипної серії реакцій у вигляді ансамблю реалізацій.

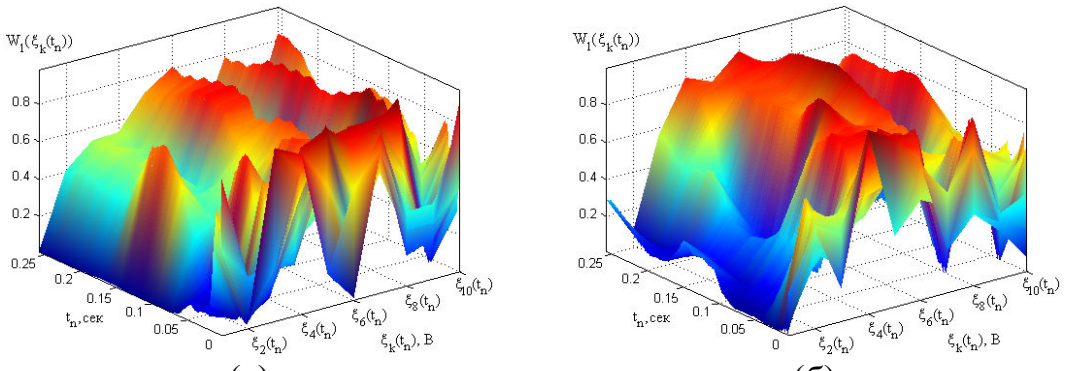
Результати аналізу ЕРС методами гармонічного аналізу у рамках детермінованого підходу підтверджують, що отримані амплітудні спектри відгуків ЕРС (рис.4) є мінливими, що свідчить про наявність в сигналі стохастичної складової.



(а) (б)

Рис. 4. Графіки реалізації амплітудних спектрів ЕРС:
(а) – пацієнт А в нормі; (б) – пацієнт Б із патологією.

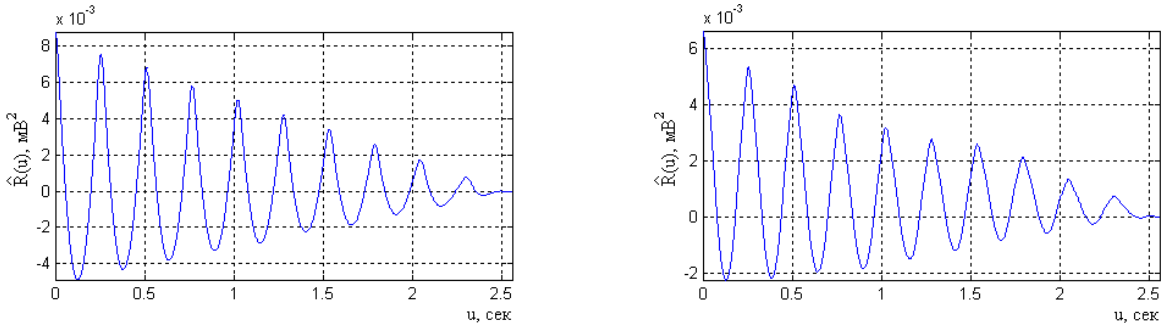
Розглядаючи сигнал у рамках стаціонарної моделі, помічено, що функції густини розподілу (рис.5) трансформуються в часі,



(а) (б)

Рис. 5. Оцінки густини розподілу ймовірностей $W(t_n)$ реалізацій ЕРС:
(а) – пацієнт А в нормі; (б) – пацієнт Б із патологією.

а кореляційна функція від ЕРС, як суцільної реалізації, є періодичною в часі t та циклічно-затухаючою по зсуві u (рис.6).



(а) (б)

Рис.6. Оцінки автокореляційних функцій ЕРС:
(а) – пацієнт А в нормі; (б) – пацієнт Б із патологією.

Адекватна модель ЕРС повинна мати властивість стохастичності, гармонізовності і періодичності її статистичних характеристик. Випадкова стаціонарна модель відображає складність ЕРС у спектральному розподілі потужності, проте не відображає його фазово-часової структури, яка є важливим показником при виявленні фазово-часових змін у сигналі. У термінах енергетичної теорії цим вимогам задовольняє модель у вигляді періодично корельованого випадкового процесу, яка має засоби врахування як пов'язаності гармонічних складових, так і зміни ймовірнісних характеристик.

Періодично корельований випадковий процес класу π^T - це процес, кореляційна функція якого задовольняє умови $r_\xi(t+T,s+T)=r_\xi(t,s)$, $T>0$ для всіх t, $s\in\mathbf{R}$ та $M_t(r(t,t))<\infty$.

Розглядаючи реакції ока після кожного спалаху як реалізації ПКВП, на часових інтервалах $[kT,(k+1)T)$, можна сукупність (множину) їх трактувати як реалізацію подання ПКВП через трансляційні компоненти:

$$\xi(t)=\sum_{p\in Z}\sum_{k\in N}\alpha_k(p)\hat{O}_k(t-pT), \qquad (2)$$

де $\alpha(p)=[\alpha_k(p)]_{k\in N}$, $p\in Z$ – векторна стаціонарна послідовність;

$\{\hat{O}_p(t), p\in N, t\in[pT,(p+1)T)\}$ – трансляційний базис у функційному просторі $L^2(0,T)$;

$\{\alpha(n), n\in\mathbf{Z}\}$ – послідовність трансляційних стаціонарних компонент.

Зображення (2) адекватне імпульсним форматам сигналів і ефективне при моделюванні ЕРС у вигляді імпульсного ПКВП, але на підставі рівносильності подань ПКВП через трансляційні компоненти (2) та подань їх через стаціонарні компоненти:

$$\xi(t)=\sum_{k\in\mathbf{Z}}\xi_k(t)e^{ik\frac{2\pi}{T}t}, t\in\mathbf{R}, \qquad (3)$$

де $\xi_k(t)$ - стаціонарні компоненти ЕРС як ПКВП, $\mathbf{Z}$ - множина всіх цілих чисел, такі реалізації доцільно трактувати як реалізації останнього з названих подань, що обґрунтовує застосовність до них відомих методів статистичного опрацювання (синфазного, компонентного) для обчислення статистичних оцінок їхніх ймовірнісних характеристик, які є показниками стану сітківки ока людини.

У третьому розділі на базі обґрунтованої математичної моделі ЕРС у вигляді імпульсного ПКВП отримано нові вирази для числення статистичних оцінок його характеристик, які дали змогу підвищити достовірність діагностики стану сітківки ока шляхом впровадження в область офтальмодіагностики нового класу інформативних ознак, одержаних синфазним та компонентним методами аналізу.

Синфазний метод базується на тому, що відліки значень ЕРС через період корельованості при різному виборі початку відліку (початкової фази) $t_0 \in [0,T)$ утворюють стаціонарну ергодичну векторну випадкову послідовність $\{\xi(t_0), t_0 \in [0,T)\}$, де $\xi(t_0) \equiv \{\xi(t_0 + kT), k \in Z\}$. На основі даного методу характеристики ЕРС (коваріаційні компоненти $\hat{b}_\xi(t,u)$), які дають змогу оцінити часову мінливість сигналу, обчислено за виразом:

$$\hat{b}_\xi(t,u) = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N} \overset{0}{\xi}(t+u+kT)\overset{0}{\xi}(t+kT), \qquad (4)$$

де $\overset{0}{\xi}(t) = \xi(t) - \hat{m}(t)$ - центрований ЕРС $\xi(t)$.

Компонентний метод виходить з того, що характеристики ЕРС є періодичними функціями від часу, а тому поданні за допомогою розкладів типу рядів Фур'є:

$$\hat{b}_\xi(t,u) = \sum_{k \in Z} \hat{B}_k(u) \exp\left(ik\frac{2\pi}{T}t\right), \qquad (5)$$

де $\hat{B}_k(u)$ – оцінки спектральних компонент, котрі кількісно характеризують фазово-часову структуру ЕРС:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{T}\int_0^{\grave{O}} \hat{b}_\xi(t,u)\exp\left(-ik\frac{2\pi}{T}t\right)dt\,,\ k \in Z\,. \qquad (6)$$

Установлено, що синфазний метод аналізу має два способи реалізації, а саме з врахуванням і без врахуванням взаємокореляційних зв’язків між компонентами, що дало змогу розвинути цей метод. Оцінки спектральних компонент ЕРС як періодично корельовано випадкової дискретної послідовності отримані синфазним методом з урахуванням взаємокореляційних зв’язків обчислено за виразом:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{N_T}\sum_{n=0}^{N_T-1} \hat{b}_\xi(n\Delta t,u)\exp\left(-ik\frac{2\pi}{N_T}n\right), \qquad (7)$$

де N_T – дискретний період корельованості ЕРС, $N_T = T \cdot \Delta t$, u – зсув, Δt – крок дискретизації, $\hat{b}_\xi(n\Delta t,u) = \frac{1}{N}\sum_{k1=0}^{N_K-1} \overset{0}{\xi}(n\Delta t + u + k1N_T)\overset{0}{\xi}(n\Delta t + k1N_T)$ – оцінка коваріаційних компонент, де N_k – кількість відгуків ЕРС.

Оцінки спектральних компонент ЕРС отримані синфазним методом без урахування взаємокореляційних зв’язків обчислено за виразом:

$$\hat{B}_k(n\Delta t) = \frac{1}{N_u}\sum_{u=0}^{N_u} \hat{b}_\xi(n\Delta t,u)\exp\left(-ik\frac{2\pi}{N_T}u\right), \qquad (8)$$

де $\hat{b}_{\xi}(n\Delta t,u)=\frac{1}{N_k}\sum_{k1=0}^{N_k-1}\overset{o}{\xi}(n\Delta t+k1\cdot N_T\cdot\Delta t)\overset{o}{\xi}(n\cdot\Delta t+(k1+u)\cdot N_T\cdot\Delta t)$ – оцінки коваріаційних компонент, N_u - довжина зсуву.

На рис.7-9 зображено формули алгоритмів комп'ютерного опрацювання ЕРС синфазним та компонентним методами із використанням алгебри алгоритмів Овсяка В.К., яка на відміну від вербального та блок-схемного описів, забезпечує точний опис, мінімізацію за кількістю дій (унітермів) та дослідження алгоритмів.

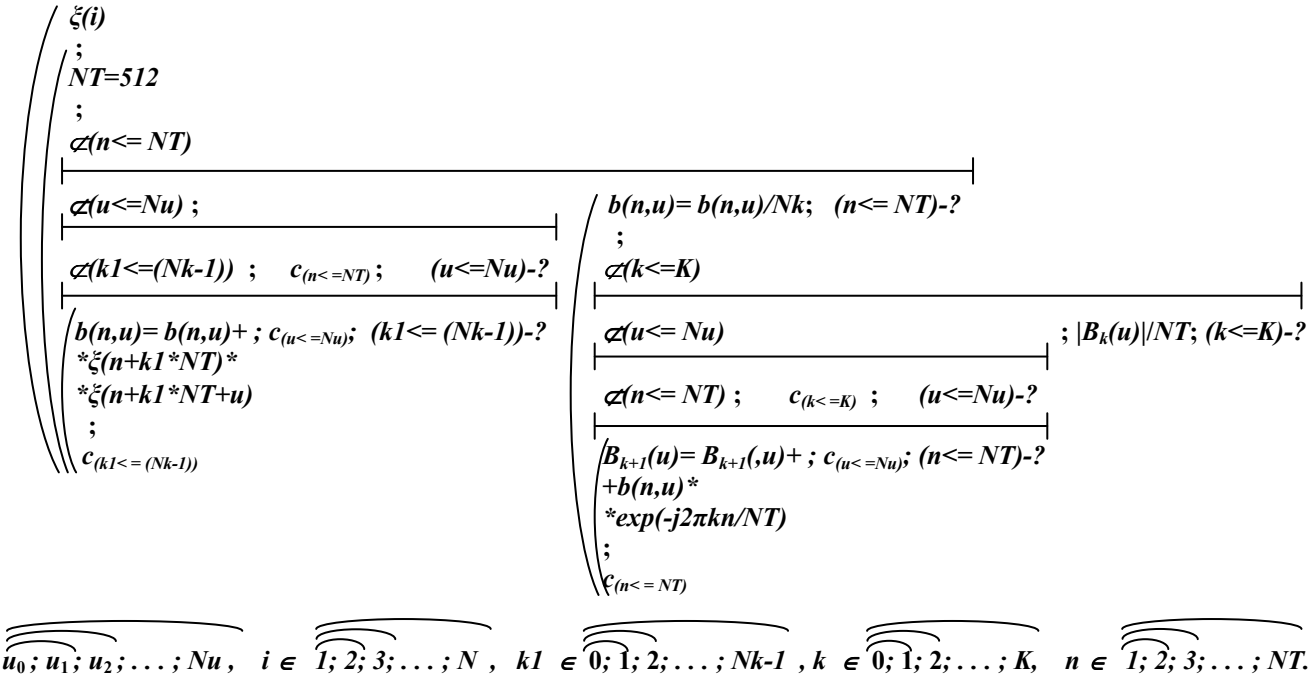


Рис.7. Формула алгоритму опрацювання ЕРС синфазним методом з урахуванням взаємокореляційних зв'язків між компонентами

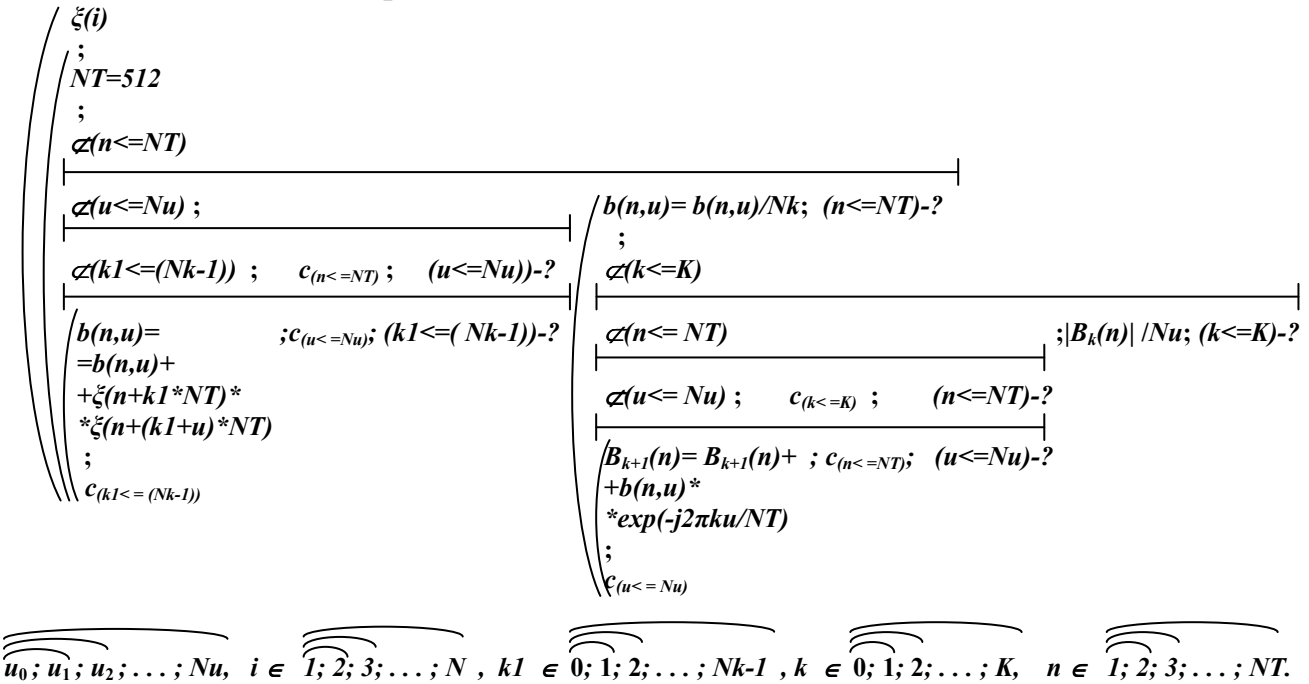


Рис.8. Формула алгоритму опрацювання ЕРС синфазним методом без урахуванням взаємокореляційних зв'язків між компонентами

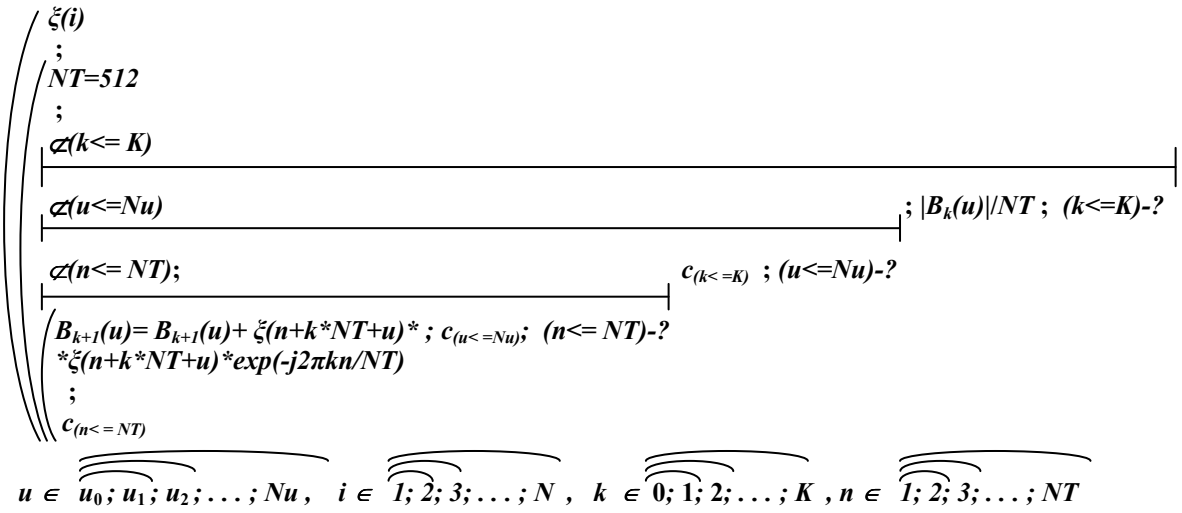
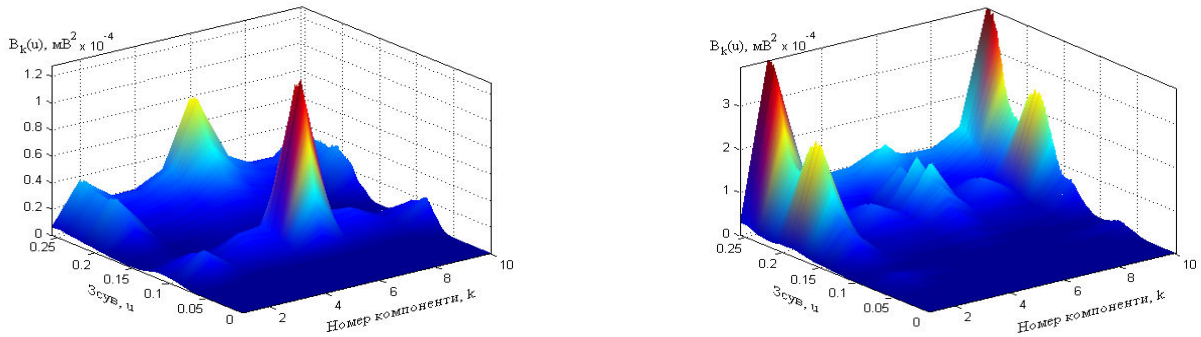


Рис.9. Формула алгоритму опрацювання ЕРС компонентним методом

Розроблені формули алгоритмів комп'ютерного опрацювання ЕРС (рис.7-9) дають змогу розробити програмне забезпечення для оцінювання його характеристики з метою виявлення нових в області офтальмодіагностики інформативних ознак на основі математичної моделі у вигляді імпульсної періодично корельованої випадкової послідовності із дискретним часом.

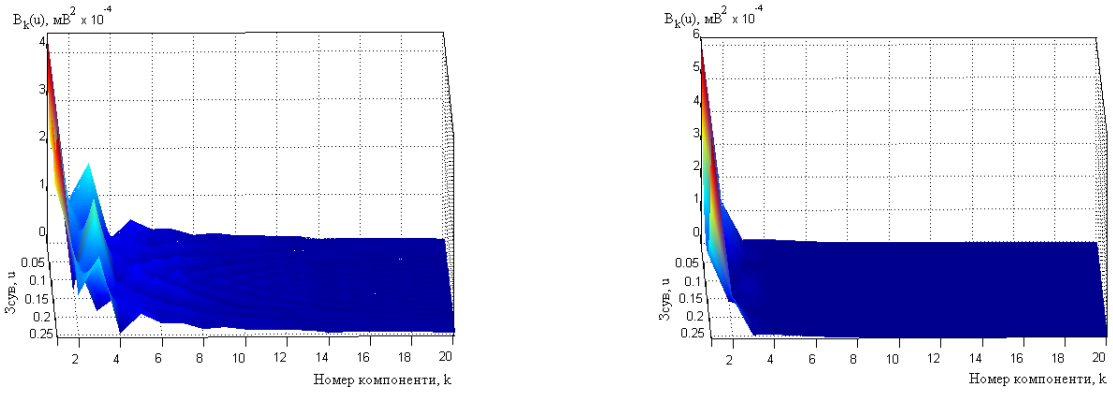
У четвертому розділі на базі обґрунтованої математичної моделі електроретиносигналу опрацьовано сигнал синфазним та компонентним методами. Використовуючи статистичний критерій Неймана-Пірсона обчислено достовірність отриманих результатів опрацювання ЕРС синфазним та компонентним методами. Розроблено комп'ютерну імітаційну модель ЕРС на базі моделі у вигляді періодично корельовано випадкової послідовності. Результати аналізу ймовірнісних характеристик імітаційної моделі підтвердили коректність імітаційного моделювання. Здійснено перевірку розробленої у розділі 2 математичної моделі ЕРС на відповідність досліджуваному сигналові.

Враховуючи алгоритми опрацювання ЕРС синфазним та компонентним методами (рис.7-9) отримано результати, які наведені на рис.10-12.



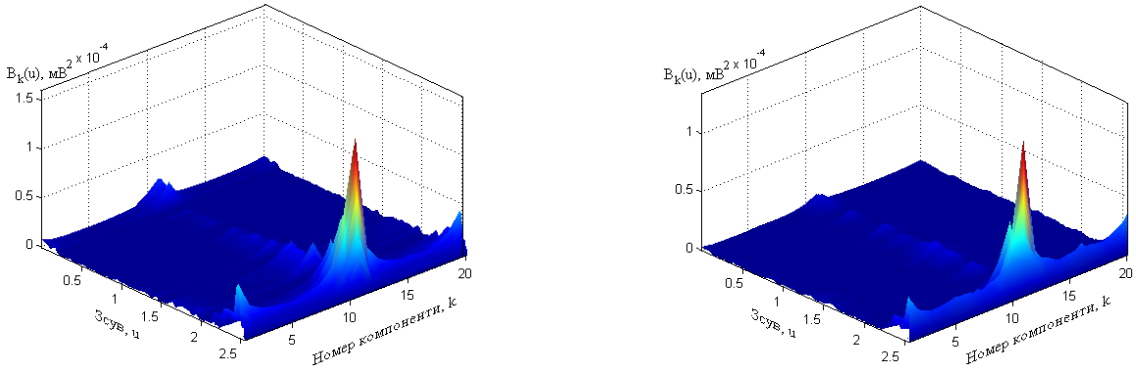
(а) (б)

Рис. 10. Реалізації спектральних компонент ЕРС обчислених синфазним методом без урахування взаємокореляційних зв'язків між компонентами



(в) (г)

Рис. 11. Реалізації спектральних компонент ЕРС обчислених синфазним методом з урахуванням взаємокореляційних зв'язків між компонентами



(а) (б)

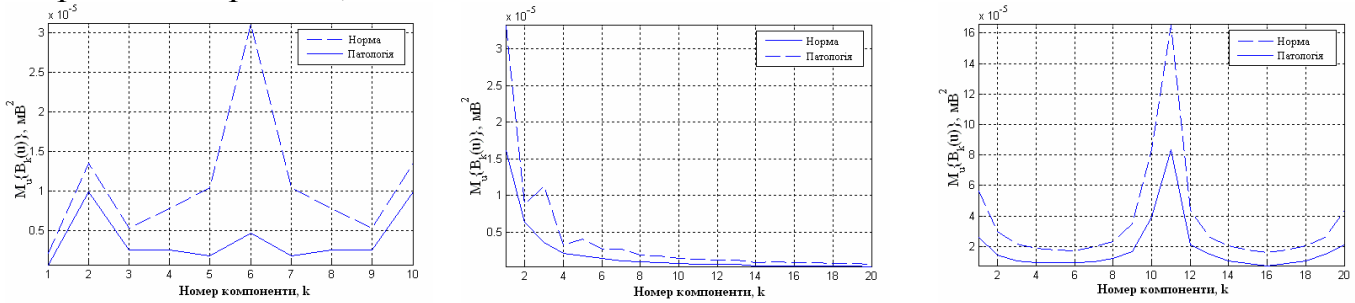
Рис. 12. Реалізації спектральних компонент ЕРС обчислених компонентним методом

Оцінку математичного сподівання реалізацій спектральних компонент $\hat{B}_k(u)$, обчислено з виразу:

$$M_u\left\{\hat{B}_k(u)\right\}=\frac{1}{N_u}\sum_{u=1}^{N_u}\hat{B}_k(u),\quad u=\overline{1,N_u},\ k=\overline{1,N_k}, \qquad (9)$$

де k – номер спектральної компоненти ЕРС, u – зсув, N_u – довжина зсуву, N_k – кількість компонент.

Реалізації оцінок математичних сподівання для спектральних компонент ЕРС зображено на рис. 13,а-б.



(а) (б) (в)

Рис. 13. Оцінки математичного сподівання спектральних компонент ЕРС: (а) - синфазний метод (без урахування взаємокореляційних зв'язків між компонентами); (б) - синфазний метод (з урахування взаємокореляційних зв'язків між компонентами); (в) - компонентний метод.

На рис. 13,а видно, що значення максимумів оцінок математичного сподівання для норми та патології зосереджені на одних і тих самих частотах, проте амплітудні значення оцінок різняться між собою, а саме для норми максимальна амплітуда ознаки зосереджена на 8-ій частоті, для патології – на 2-ій частоті. Тому оцінки математичного сподівання є чутливо-кількісними показниками при розрізнені різних станів зорової системи (норма чи патологія). На рис. 13,б видно, що оцінки для норми і патології дуже подібні за структурою, проте мають відмінності. Із отриманих оцінок математичного сподівання спектральних компонент компонентним методом на рис.13,в видно, що основі піки компонент зосередженні на одних і тих самих частотах, а різняться між собою лише за амплітудою, що свідчить про чітку зміну в функціонуванні зорової системи, а саме в сітківці (норма, катаракта, центральна дегенерація сітківки чи інший вид патології).

Обчислення достовірності спектральних компонент ЕРС зведено до визначення класу ЕРС (стаціонарний чи нестаціонарний), що є частковим випадком загальної задачі статистичної перевірки гіпотез. Розглянуто за припущення, що досліджуваний електроретиносигнал є адитивною сумішшю, дві гіпотези: 1) $H_0 : \xi(t) = \overset{0}{\xi}(t)$ - ЕРС стаціонарний: 2) $H_1 : \xi(t) = \overset{0}{\xi}(t) + m_\xi(t)$ - ЕРС нестаціонарний, де $m_\xi(t)$ - детермінована періодична складова (в даному випадку, математичне сподівання випадкового процесу $\xi(t)$), $\overset{0}{\xi}(t)$ - стаціонарний випадковий процес (центрований випадковий процес з нульовим математичним сподіванням).

Оскільки хибне рішення однієї із гіпотез може призвести до небажаних і важких наслідків (зокрема, неправильне лікування зорової системи, яке призначається на основі діагнозу), тому розглянуто тільки такі рішення, для яких при заданому значенні ймовірності помилки p_f ймовірність правильного рішення (достовірність) p_d максимальна, – критерій Неймана-Пірсона. За цим критерієм, достовірність оцінок ЕРС p_d обчислюється з виразу:

$$p_d = 1 - \Phi\left(\frac{U_0 - m(\xi/H_1)}{\sqrt{D(\xi/H_1)}}\right). \qquad (10)$$

де $\Phi(\cdot)$ – інтеграл нормального розподілу, U_0 – поріг розрізнення між стаціонарністю та нестаціонарністю, $U_0 = \sqrt{D(\xi/H_0)}\Phi^{-1}(1-p_f) + m(\xi/H_0)$; $m(\xi/H_0), D(\xi/H_0)$ - математичне сподівання і дисперсія спектральної густини потужності стаціонарного ЕРС, $m(\xi/H_1) = \frac{1}{N_u N_k}\sum_u^{N_u}\sum_k^{N_k} B_k(u)$ – математичне сподівання та $D(\xi/H_1) = \left(\sum_u^{N_u}\sum_k^{N_k}\left(B_k(u) - m(\xi/H_1)\right)^2\right) \Big/ (N_u - 1)(N_k - 1)$ – дисперсія спектральних компонент нестаціонарного ЕРС як ПКВП.

Результати обчислених миттєвих значень достовірностей p_d спектральних компонент ЕРС при заданих ймовірностях помилки $p_f = (0.001, 0.01, 01)$, які

наведено в табл. 2, вказують на те, що оцінки спектральних компонент ЕРС (рис.13) є інваріантно-інформативними ознаками, за допомогою яких можна з високою достовірністю (0,989-1) оцінити стан сітківки ока (норма чи патологія).

Таблиця 2

Миттєві значення достовірностей p_d спектральних компонент ЕРС

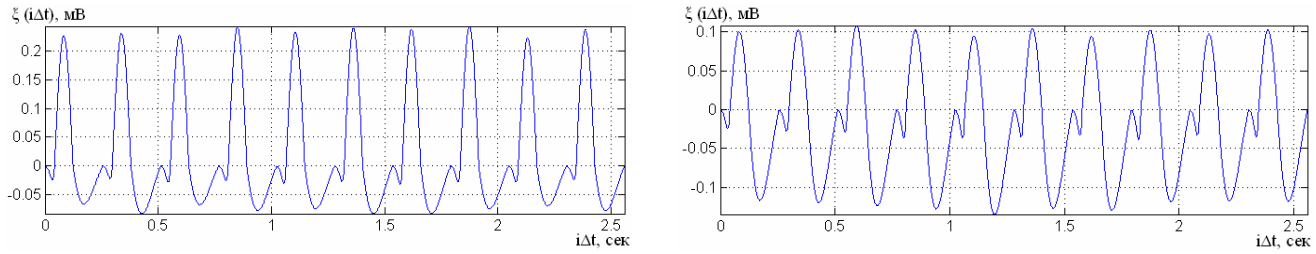
Метод аналізу / Помилка	Синфазний з ВКЗ		Синфазний без ВКЗ		Компонентний	
	Норма	Патологія	Норма	Патологія	Норма	Патологія
p_f =0.1	0.999	0.989	0.999	0.999	0.999	0.999
p_f =0.01	1	0.999	1	1	1	1
p_f =0.001	1	0.99	1	1	1	1

Базуючись на математичній моделі ЕРС у вигляді імпульсного ПКВП і враховуючи те, що $\xi_{â^3äãóé}(n\Delta t)=\sum_{j=1}^{3}\chi_{D_j}(n\Delta t)\xi_{õâèëÿ_j}(n\Delta t)$, де $D_j=\left[\Delta tNx_{j-1},\Delta tNx_j\right)$ - інтервал розбиття області задання з початковою умовою $\Delta tNx_0=0$, ΔtNx_j - тривалість j-ої хвилі , імітаційну модель ЕРС побудовано у вигляді:

$$\xi(n\Delta t)=\sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\chi_{D_{kj}}(n\Delta t)\cdot\xi_{хвиля_{kj}}(n\Delta t)= \\ =\sum_{k=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\chi_{D_{kj}}\cdot\left(\left(\psi_{A_{kj}}+A_{kj}\right)\cdot\sin\left(2\cdot\pi\cdot\left(n\Delta t+\psi_{T_{kj}}+kN_T\Delta t\right)\cdot f_{kj}\right)\cdot e^{-n\Delta t\cdot K_{kj}}\cdot L_{kj}\right), \quad (11)$$

де $D_k=\bigtimes_j D_{kj}$ - об'єднання незалежних підмножин D_{kj} у спільну множину D_k; N - кількість відгуків ЕРС; M - кількість хвиль в межах одного відгуку ЕРС; A_{kj} і K_{kj} - амплітуди та коефіцієнти нахилу kj-ої хвилі; f_{kj} - частоти коливань для півперіоду синусоїд kj-ої хвилі; L_{kj} - масштабні коефіцієнти для kj-ої хвилі; $\psi_{A_{kj}}\left(M\left(A_{kj}\right),D\left(A_{kj}\right)\right)$ і $\psi_{T_{kj}}\left(M\left(Tx_{kj}\right),D\left(Tx_{kj}\right)\right)$ - випадкові величини для амплітуд та тривалостей часових kj-ої хвилі розподілених за нормальних законом із математичним сподіваннями $M\{A\}=M\left(Tx_{kj}\right)=0$ та дисперсіями $D\{A\}$, $D\left(Tx_{kj}\right)$.

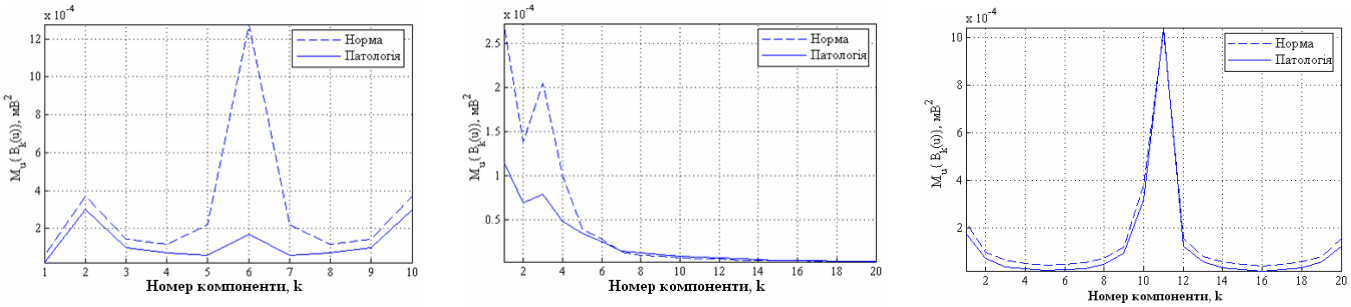
На рис.14 наведено реалізації зімітованих ЕРС у середовищі MATLAB 7.0.



(а) (б)

Рис. 14. Реалізації зімітованих ЕРС: (а) – норма; (б) – патологія.

Для цих реалізацій обчислено оцінки математичного сподівання спектральних компонент, які наведено на рис. 15.



(а) (б) (в)

Рис. 15. Оцінки математичного сподівання спектральних компонент: (а) - синфазний метод (без урахування взаємокореляційних зв'язків між компонентами); (б) - синфазний метод (з урахування взаємокореляційних зв'язків між компонентами); (в) - компонентний метод.

На рис.15,а-в видно, що значення максимумів амплітуд оцінок математичного сподівання спектральних компонент зімітованих ЕРС локалізуються на тих самих компонентах, що і оцінки експериментальних сигналів (рис.13,а-в), а максимальне значення відносної похибки достовірностей експериментального і імітованого сигналу для норми становить 0,1%-2,7%, а для патології – 0,1%-5,6% при мінімальній ймовірності помилці $p_f = 0.001$, що свідчить про високу точність імітаційного відтворення експериментального ЕРС. Даний факт є підставою для верифікації методу комп'ютерного імітаційного моделювання.

На основі розробленої математичної моделі та методу аналізу ЕРС створено пакет комп'ютерних програм для статистичного опрацювання та імітаційного моделювання ЕРС як складової частини спеціалізованого програмного забезпечення автоматизованих систем комп'ютерної офтальмодігностики.

У **додатках** наведено тексти програм, розроблені для ПК (ОС Windows XP), акт впровадження результатів дисертаційного дослідження.

ВИСНОВКИ

У дисертації розв'язано актуальну наукову задачу удосконалення математичної моделі та методів аналізу електроретиносигналу із врахуванням макромеханізму його формування для підвищення достовірності ранньої діагностики стану сітківки ока людини в офтальмодіагностичних системах.

При цьому отримано такі результати:

1. У результаті проведеного порівняльного аналізу відомих математичних моделей електроретиносигналу сформульовано основні вимоги до математичної моделі: врахування статистичної взаємопов'язаності між різними відгуками однієї і тієї ж серії спостережень та можливість застосування для задач оперативного виявлення змін стану сітківки ока на ранніх стадіях захворювання.
2. Обґрунтовано модель електроретиносигналу у вигляді імпульсного періодично корельованого випадкового процесу, яка, на відміну від відомих, відображає макромеханізм формування електроретиносигналу, що дає змогу

визначення характеристик моделі за результатами експериментів і враховує поєднання стохастичності із повторністю сигналу.

3. Розроблено методи статистичного опрацювання електроретиносигналу сітківки ока людини, з використанням формалізованої і автоматизованої процедури, які дають змогу оцінити стан зорового аналізатора, зокрема його сітківку на ранній стадії її захворювання.
4. Установлено, що отримані значення спектральних компонент є характеристиками інформативно-інваріантних ознак електроретиносигналу із достовірністю їх оцінювання 0,989-0,999 при ймовірності помилки 0.001 та характеризують функціональний стан сітківки ока людини.
5. Розроблено комп'ютерну імітаційну модель електроретиносигналу на базі удосконаленої математичної моделі для потреб верифікації і тестування розроблених методів опрацювання електроретиносигналів.
6. Створено пакет комп'ютерних програм статистичного опрацювання електроретиносигналів, який придатний для використання як складової частини спеціалізованого програмного забезпечення автоматизованих систем комп'ютерної офтальмодігностики.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Драґан Я.П. Метод виявлення електропотенціального відгуку сітківки ока у суміші із завадами / Я.П. Драґан, М.О. Хвостівський, Г.М. Шадріна // Вісник Тернопільського державного технічного університету – Тернопіль: ТДТУ ім. І.Пулюя, 2007. – № 1. – С. 136-141.
2. Хвостівський М.О. Математична модель електроретинографічного сигналу / М.О. Хвостівський, Г.М. Шадріна // Вісник Хмельницького національного технологічного університету – Хмельницький: ХНУ, 2007.–№ 2. – С.103-106.
3. Драґан Я.П. Обґрунтування математичної моделі електроретинографічного сигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу / Я.П. Драґан, Г.М. Осухівська, М.О. Хвостівський // Комп'ютерні технології друкарства. – Львів: Українська академія друкарства, 2007. – № 18. – С. 129-138.
4. Гевко О.В. Імітаційна модель електроретиносигналу на основі періодично корельованого випадкового процесу / М.О. Хвостівський, О.В. Гевко, Г.М. Шадріна // Вісник Тернопільського державного технічного університету – Тернопіль: ТДТУ ім. І.Пулюя, 2007. – №4. – С. 157-164
5. Хвостівський М.О. Метод аналізу електроретиносигналу для ранньої діагностики стану сітківки ока людини / М.О. Хвостівський // Вісник Тернопільського державного технічного університету – Тернопіль: ТДТУ ім. І.Пулюя, 2008. – № 2. – С. 162-168.
6. Хвостівський М.О. Комп'ютерне опрацювання електроретиносигналу компонентним методом для розширення можливостей ранньої діагностики зорового аналізатора / М.О. Хвостівський / Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. – Чернівці: Рута, 2008. – Вип. 426: Фізика.

Електроніка. – Ч. 2. – С. 98-101. – (Тематичний випуск “Комп’ютерні системи та компоненти”)

7. Хвостівський М.О. Комп’ютерне опрацювання електроретиносигналу синфазним методом / М.О. Хвостівський // Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем TAAPSD’2008: тези доповідей п’ятої міжнародної конференції, 22-26 вересня 2008 р. – Київ,Чернігів: КМА, ЧДТУ, 2008. – С.186-192
8. Драґан Я.П. Визначення типу електропотенціального відгуку сітківки ока на світлове збурення / М.О. Хвостівський, Я.П. Драґан // Матеріали дев’ятої науково-технічної конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 12-13 травня 2005р. – Тернопіль: ТДТУ, 2005. – С. 88.
9. Хвостівський М.О. Побудова фільтру для аналізу електропотенціального відгуку сітківки ока (ЕПВСО) при виявленні / М.О. Хвостівський // Матеріали десятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя, 17-18 травня 2006р. – Тернопіль: ТДТУ, 2006. – С. 126
10. Хвостівський М.О. Математична модель електроретинографічного сигналу / М.О. Хвостівський, Г.М. Шадріна // Матеріали одинадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 16-17 травня 2007 р. – Тернопіль: ТДТУ, 2007. – С.16.
11. Хвостівський М.О. Математична модель електроретинографічного сигналу у вигляді періодично корельованого випадкового процесу / М.О. Хвостівський // Матеріали одинадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 16-17 травня 2007 р. – Тернопіль: ТДТУ, 2007. – С. 15.
12. Хвостівський М.О. Метод аналізу електроретиносигналу / М.О. Хвостівський // Матеріали дванадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя, 14-15 травня 2008 р. – Тернопіль: ТДТУ, 2008. – С. 12
13. Осухівська Г.М. Синфазний та компонентний методи аналізу електроретиносигналу / М.О. Хвостівський, Г.М. Осухівська // Матеріали дванадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя, 14-15 травня 2008 р. – Тернопіль: ТДТУ, 2008. – С. 16
14. Хвостівський М.О. Достовірність оцінювання електроретиносигналу як періодично корельованого випадкового процесу / М.О. Хвостівський // Матеріали всеукраїнської наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 13-14 травня 2009р. – Тернопіль: ТДТУ, 2009. – С. 8.

АНОТАЦІЯ

Хвостівський М.О. Математична модель макромеханізму формування електроретиносигналу для підвищення достовірності офтальмодіагностичних систем. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні методи. — Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2009 р.

У дисертаційній роботі розв'язано важливе наукове завдання - удосконалено математичну модель та методи аналізу електроретиносигналу із врахуванням його макромеханізму формування для підвищення достовірності ранньої діагностики стану сітківки ока людини в офтальмодіагностичних системах.

Обґрунтовано нове застосування періодично корельованого випадкового процесу як математичної моделі електроретиносигналу, яка враховує у своїй структурі поєднання властивостей періодичності із стохастичністю. На базі обґрунтованої моделі розроблено методи дослідження електроретиносигналу сітківки ока людини у системах офтальмодіагностики, з використанням формалізованої і автоматизованої процедури, яка дає змогу із підвищеною достовірністю оцінити стан сітківки ока людини на ранній стадії її захворювання. Установлено, що отримані спектральні компоненти є інформативно-достовірними ознаками електроретиносигналу і відповідають функціональному стану сітківки ока людини. Використовуючи методи статистичної теорії вибору рішень визначено достовірність оцінок спектральних компонент електроретиносигналу.

Розроблено метод (програма і алгоритм) імітаційного моделювання електроретиносигналу на основі періодично корельованої випадкової послідовності. Створено пакет комп'ютерних програм для автоматизованого опрацювання електроретиносигналу та проведення імітаційних експериментів для автоматизованих систем офтальмодіагностики.

Ключові слова: електроретиносигнал, макромеханізм формування періодичність, імпульсний періодично корельований випадковий процес, спектральні компоненти, достовірність, верифікація, комп'ютерне імітаційне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Хвостивский М.О. Математическая модель макромеханизма формирования электроретиносигнала для повышения достоверности офтальмодиагностических систем. — Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук за специальностью 01.05.02 — математическое моделирование и вычислительные методы. — Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2009 г.

В диссертационной работе развязано важное научное задание - усовершенствовано математическую модель и методы анализа

электроретиносигнала с учетом его макромеханизма формирования для повышения достоверности ранней диагностики состояния сетчатки глаза человека в офтальмодиагностических системах.

Обосновано представление электроретиносигнала в виде ансамбля как периодическое продолжение его (макромеханизм формирования), что обеспечило возможность учесть взаимнокорреляционные связи между различными реакциями сетчатки глаза для одной и той же серии наблюдений. Учитывая сложность и макромеханизма формирования электроретиносигнала проанализированы его характеристики в рамках детерминированного подхода и из позиций стохастического подхода (методами теории стационарных случайных процессов). Полученные результаты анализа методами гармонического анализа в рамках детерминированного подхода подтверждают, что получены амплитудные спектры отзывов электроретиносигнала является переменчивыми, то есть содержат определенную случайность. Случайная стационарная модель отображает сложность электроретиносигнала в спектральном распределении мощности, однако не отображает его фазово-часовой структуры, которая является важным показателем при выявлении часовых изменений сигнале. Из анализа свойств вероятностных характеристик электроретиносигнала и свойств периодически коррелируемых случайных процессов выплывает, что математическая модель процесса такого класса дает возможность адекватно описать сигнал, а именно учесть в своей структуре сочетание свойств периодичности из стохастичностью, что является важным при исследовании фазово-часовых отклонений с целью выявления момента проявления ранних изменений в функционировании сетчатки глаза. На базе математической модели электроретиносигнала в виде периодически коррелируемого случайного процесса обоснованно использование спектрально-корреляционного метода для получения информативных признаков электроретиносигнала путем применения синфазного и компонентного методов анализа. Установлено, что синфазный метод анализа имеет два способа реализации, а именно с учетом и без учета взаимнокорреляционных связей между компонентами, что дало возможность развить этот метод. Разработаны методы компьютерной обработки электроретиносигнала, которые дали возможность расширить возможность ранней диагностики состояния сетчатки глаза человека путем внедрения в область офтальмодиагностики нового класса информативно-достоверных признаков – спектральные компоненты, которые характеризируют изменения фазово-часовой структуры сигнала, и этим дают возможность обнаружить на ранней стадии нарушение в работе сетчатки глаза человека. Применены методы статистической теории принятия решения для определения достоверности результатов оценивания спектральных компонент электроретиносигнала. В частности для оценивания достоверности спектральных компонент электроретиносигнала использован статистический критерий принятия решения Неймана-Пирсона. Результаты оценивания достоверности подтвердили актуальность использования спектральных компонент электроретиносигнала как инвариантно информативных признаков, с помощью которых можно с высокой достоверностью (0,989-0,999) оценить состояние зрительной системы, в частности его сетчатку.

Разработан метод (программа и алгоритм) компьютерного имитационного моделирования электроретиносигнала на основе периодически коррелируемой случайной последовательности для потребностей тестирования разработанных алгоритмов его прорабатывания. Проведено исследование вероятностных характеристик имитированных реализаций электроретиносигнала, что дало возможность подтвердить соответствие компьютерной имитационной модели обоснованной математической модели электроретиносигнала с точностью для нормы 0.1-2.7% и патологии 0.1-5.6% при заданной вероятности ошибки 0,001.

Создан пакет компьютерных программ для автоматизированного прорабатывания электроретиносигнала и проведения имитационных экспериментов для автоматизированных офтальмодиагностических систем.

Ключевые слова: электроретиносигнал, макромеханизм формирования, периодичность, периодически коррелируемый случайный процесс, спектральные компоненты, достоверность, верификация, компьютерное имитационное моделирование.

SUMMARY

Khvostivskiy M.O. A mathematical model of macromechanism of forming of electroretinosignal is for the increase of authenticity of the oftalmodiagnostic systems. - Manuscript.

In dissertation the important scientific task is solved - a mathematical model and methods of analysis of electroretinosignal is improved taking into account its macromechanism of forming for the increase of authenticity of early diagnostics of the state of retina of eye of man in the oftalmodiagnostic systems.

Grounded new application of the periodically correlated casual process as a mathematical model of electroretinosignal, which takes into account in the structure combination of properties of periodicity from stohastic. On the base of the grounded model the methods of research of electroretinosignal retina of eye of man are developed in the systems of oftalmodiagnostic, with the use of the formalized and automated procedure which enables to estimate being of retina of eye of man in the early stage of its disease with the promoted authenticity. Set, that spectral components are got is descriptions by the informing reliable signs of electroretinosignal and answer the functional state of retina of eye of man. Utillizing the methods of statistic theory of choice of decisions certainly authenticity of estimations spectral component of electroretinosignal.

A simulation of electroretinosignal technique (program and algorithm) is developed on the basis of the periodically correlated casual sequence. The package of computer softwares is created for the automated working of electroretinosignal and conducting of imitation experiments for the automated systems of oftalmodiagnostic.

Key words: electroretinosignal, macromechanism of generation, periodicity, impulse iperiodically correlated random process, spectral components, certanty, verification, computer imitation modelling.