**Аналізатор інфрачервоного поглинання в засобах неінвазивного контролю глюкози крові**

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

**Загальна характеристика роботи**

Актуальність теми. Розробка нових неінвазивних методів дослідження, контролю і діагностики життєвих процесів відповідає сучасним вимогам розвитку засобів медичної техніки і нових медико-біологічних технологій.

Важливого значення названа проблема набуває при наданні лікувальної допомоги хворим цукровим діабетом - поширеному важкому ендокринному захворюванню, викликаному порушеннями вуглеводного обміну в організмі людини. Воно виявляється в хронічній гіперглікемії, рівень якої необхідно постійно контролювати для проведення своєчасної і періодичної інсулінотерапії.

Прямі і непрямі витрати на лікування хворих цукровим діабетом, обумовлені зниженням продуктивності їх праці, передчасним виходом на пенсію, перевищують в три рази витрати на інших хворих. Поширеність діабету в Україні за останні десять років зросла в півтора рази.

Процес лікування цукрового діабету зумовлює щоденну активну і грамотну участь самого хворого в інсулінотерапії на основі суб'єктивних відчуттів вимірювання інвазивними засобами експрес-аналізу вмісту глюкози в крові декілька разів на добу.

Розробкам методів і засобів вимірювання концентрації глюкози в крові присвячено багато робіт (Нельсон Ч. І; Уоткинс П. Д; Molbrain M; Burmeister J. J; та інші.), в тому числі і в Україні (Байдун Л. В; Бокарёв И. Н; Карятина И. Ю; Емануель Ю. В; та інші.).

Найбільшого поширення набули інвазивні методи контролю глюкози безпосередньо в крові по показникам хімічних глюкозооксидазних та інших реакцій її зразків, нанесених на сенсорні тест-смужки чи на інші сенсорні схеми реєстрації і аналізу фізико-хімічних і оптичних показників крові, отриманої шляхом порушення зовнішнього шару шкіри і виконанням процедур, часто досить болючих і септично малонадійних.

Останніми роками набули розвитку пошуки заміни інвазивної технології неінвазивною без порушення цілісності шкіри. Неінвазивні методи вимірювання концентрації глюкози в крові, що існують, засновані на використанні відмінності її оптичних і хімічних властивостей та кореляційного зв'язку рівня глюкози з різними показниками життєдіяльності людини. Значний розвиток має технологія вимірювання глюкози за допомогою інфрачервоного (ІЧ) опромінювання ділянки шкіри людини. Досліджуючи спектр поглинання можна визначити концентрацію глюкози в крові (Heintman L; Занозіна О.В.).

Проте широке застосування неінвазивних методів вимірювання концентрації глюкози в крові, в тому числі і із застосуванням методів ІЧ спектрометрії, значно стримується наявною істотною похибкою вимірювання, об'єктивно викликаною впливом структурної і функціональної складності компонентів крові, поверхневих тканинних структур, їх кровопостачання, біофізичних властивостей в різних умовах, і як наслідок, упущеннями одночасного обліку і аналізу багатьох чинників зовнішнього і внутрішнього середовища, структури і процесів контролю і вимірювання, а також значною суб’єктивністю при вимірюваннях.

Постановка і виконання дисертаційної роботи визначилися виявленими можливостями обліку і аналізу значно більшої кількості чинників взаємодії зовнішнього ІЧ випромінювання з глюкозою, яка міститься в рухомих потоках крові по капілярах складно структурованої шкірної і підшкірної тканини, впливів ультразвукової модуляції оптичного променя на спектральну активність глюкози, можливостей програмно-інформаційних технічних засобів спектрометрії, а також нових знань про біофізичні властивості компонентів крові, поверхневих тканинних структур та сучасних можливостей інформаційних технологій, мікроелектронної і комп'ютерної техніки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження пов'язане з науковою тематикою та напрямками навчального процесу кафедри фізичної і біомедичної електроніки факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Частина досліджень виконувалася в рамках державних науково-дослідних робіт «Дослідження методів і розробка електронних засобів визначення і моніторингу функціонального стану людини» (НДР №0102U000655), у якій автор брав участь у дослідженнях з використання неінвазивних методів вимірювання концентрації глюкози для моніторингу функціонального стану людини; «Методи і засоби експрес-діагностики і їх застосування у фізіотерапевтичній апаратурі» (НДР №0104U003150), в якій здобувач брав участь у розробці методів неінвазивного вимірювання глюкози в крові; «Методи та засоби високої роздільної здатності у неінвазивній експрес-діагностиці» (НДР №0106U002372), в якій здобувач брав участь у розробці методів та засобів неінвазивного вимірювання глюкози в біотехнічних системах експрес-діагностики; «Створення наукових засад моніторингу біомедичних сигналів для автоматизованих комплексів ранньої діагностики» (НДР №0108U000569), у якій здобувач розробив схемні рішення ІЧ аналізаторів поглинання глюкози крові.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності неінвазивного контролю концентрації глюкози в крові, що полягає у збільшенні точності вимірювання, забезпеченні своєчасності і безпечності, шляхом створення засобів ІЧ спектрометрії та програмно-алгоритмічного обліку і аналізу факторів взаємодії зовнішнього ІЧ випромінювання з глюкозою, яка міститься в потоках крові і рухається по капілярам складно структурованих підшкірних тканин, для застосування в аналізаторних засобах неінвазивного контролю концентрації глюкози в крові.

Задачі дослідження:

 обґрунтування спектрального діапазону для виконання неінвазивного вимірювання глюкози в крові людини;

 дослідження функціональних перетворень для ідентифікації абсорбційних спектрів глюкози;

 створення алгоритмів і програм спектральної фільтрації сигналу, пропорційного концентрації глюкози у багатокомпонентної суміші біологічної тканини за умовами технології неінвазивного вимірювання;

 вдосконалення способу вимірювання глюкози в крові на основі відображення ІЧ спектрів глюкози у спеціальних просторах;

 розробка вимірювального каналу для аналізатора ІЧ спектра поглинання глюкози;

 підвищення достовірності визначення концентрації глюкози на підставі чисельного моделювання аналізатора ІЧ поглинання для неінвазивного контролю глюкози крові.

Об'єктом дисертаційного дослідження є спектри поглинання глюкози і інших складових крові та їх зв'язку з рівнем захворювання на діабет.

Предметом дослідження є засоби неінвазивного вимірювання концентрації глюкози на підставі аналізатора ІЧ поглинання крові людини.

Методи дослідження: моделювання та ідентифікація процесів в біологічних системах, методи теорії сигналів, методи розпізнавання образів, методи комп'ютерного моделювання, методи оптичної спектрометрії.

Наукова новизна одержаних результатів:

. Запропоновані нові способи неінвазивного вимірювання концентрації глюкози в крові, забезпечують високоточне вимірювання і моніторинг вмісту глюкози в крові людини для діагностики і компенсації цукрового діабету.

. Розроблено математичну модель неінвазивного вимірювання змін концентрації глюкози в крові, яка дозволяє визначати ряд статичних і динамічних характеристик ІЧ поглинання глюкози крові, припустимі похибки і на різних етапах перетворень сигналів, точності їх вимірювання, а також розроблення відповідних алгоритмів і схемно-технічних рішень і на цій основі підвищувати якість апаратних засобів неінвазивного вимірювання глюкози крові.

. Обґрунтовано підвищення ефективності неінвазивного вимірювання глюкози крові шляхом розподіленості каналів фільтрації спектрів глюкози, води, та інших складових крові, а також їх подання у формах коваріаційної матриці сигналів і розробки відповідних методів їх розрахунків.

. Установлено, що використання в аналізаторах буферної контактної оптичної лінзи, системи ультразвукової модуляції оптичного променя, квазикольорового аналізу трьох спектральних складових джерел і приймачів ІЧ діапазону, розроблених алгоритмів фільтрації спектра поглинання глюкози, вимірника спектрів Фур'є із просторовою локалізацією, розрахункового обліку координат різних компонентів крові, сприяє підвищенню точності вимірювання змін концентрації глюкози в крові, значно спрощує функціонування і підвищує швидкодію аналізатора та надає можливість проведення динамічних глюкозотолерантних тестів.

. Удосконалено метод калібрування визначення концентрації глюкози за допомогою фільтрації спектру води в ближньому ІЧ спектральному діапазоні, сумісному з діапазоном вимірювання концентрації глюкози, що дозволило підвищити точність і достовірність вимірювання концентрації глюкози.

Практичне значення одержаних результатів.

Полягає у наступному:

. Розроблено фільтри в діапазоні 2,0-2,5 мкм, що виділяють сигнали пропорційні рівню глюкози і інших складових компонент крові, що дозволило значно підвищити точність неінвазивного вимірювання глюкози.

. Розроблено схемні рішення ІЧ аналізаторів концентрації глюкози на основі інтерференційних фільтрів і Фур'є спектроскопа, що дозволяє реалізувати неінвазивний аналіз глюкози в лабораторних умовах з мінімальними витратами.

. На основі розробленого в роботі способу квазіколірного методу розкладання спектру поглинання глюкози запропонована схема аналізатора, що відрізняється простотою і економічністю реалізації.

. Розроблено аналізатор поглинання глюкози з ультразвуковою модуляцією оптичного променя, що дозволяє виконувати вимірювання із заданої внутрішньої області біотканини.

. Виконаний аналіз джерел похибок і шуму у вимірювальних каналах неінвазивних вимірників концентрації глюкози в крові дозволив оптимізувати структуру аналізаторів ІЧ поглинання глюкози, вибрати компонентну базу, оцінити результуючі погрішності і інші технічні параметри.

. Результати роботи впроваджені та використовуються в навчальному процесі НТУУ «КПІ» у дисциплінах «Спектральні методи у фізиці і медицині», «Комп'ютерні технології в медицині» при проведенні лекцій і практичних занять (акт про реалізацію в навчальному процесі НТУУ «КПІ»).

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У публікаціях, підготовлених у співавторстві з колегами, здобувачу належить розробка оптимальних фільтрів ІЧ діапазону для глюкози і води, аналіз похибок вимірювання глюкози, ідея ультразвукового впливу на біотканину з метою локалізації області вимірювання, розробка нових схемних рішень аналізаторів ІЧ поглинання.

По друкованих працях, написаних із співавторами, автору належить: в [3] - розробка методики вимірювання глюкози на підставі технології високого розрізнення у амплітудній і частотній областях, в [4] - виконано функціональний аналіз зв’язку вимірювальних даних і дійсних спектрів поглинання глюкози крові, в [5] - розробка аналізатора ІЧ поглинання у складі біотехнічної системи моніторингу глюкози крові, в [6] - розробка критерій і вибір оптимальних параметрів ідентифікації сигналів поглинання глюкози у крові, в [7] - визначено розрядність аналого-цифрового перетворення для сигналу, обмеженого за спектром і відношенням сигналу до шуму.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, викладені в дисертації, доповідалися й обговорювалися на XXIII, XXIV, XXV, XXVII, XXVIII та XXIX міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми електроніки» та «Електроніка та нанотехнології» НТУУ «КПІ», 2003, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009 р.

Публікації. Матеріали досліджень, які відображають зміст дисертації містяться у 7 наукових роботах, які опубліковані в науково-технічних журналах, включених до списку ВАК України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 182 сторінку тексту. Основний зміст викладений на 141 сторінці. Робота містить 68 рисунків, 12 таблиць, список використаних літературних джерел з 159 найменувань на 17 сторінках та додатки на 24 сторінках.

**Основний зміст дисертації**

аналізатор глюкоза неінвазивний абсорбційний

У вступі обґрунтовано актуальність проведеної роботи, сформульована мета роботи, визначені основні задачі, що вимагають рішення для досягнення поставленої мети, визначені наукова новизна й основні положення, що виносяться на захист, показана практична цінність очікуваних результатів роботи.

У першому розділі зроблено фізико-біологічне обґрунтування ІЧ спектроскопії для неінвазивного вимірювання концентрації глюкози в крові людини. Здійснення такої абсолютно неінвазивного процедури дозволяє робити багаторазові вимірювання, безупинний моніторинг рівня глюкози, дослідження глюкозотолерантних тестів при діагностиці діабету, оптимізувати інсулінотерапію.

На підставі аналізу структури молекули глюкози розглянуті основні типи коливань молекули глюкози і визначені спектральні діапазони обертального, коливального й електронного рухів молекули С6Н12О6: коливальні й обертальні спектри груп С-Н, О-H, у діапазоні 4-10 мкм; нелінійні комбінації коливальних і обертальних спектрів С-Н, О-Н у діапазоні 2,0-2,5 мкм; перший обертон групи С-Н у діапазоні 1,5-1,8 мкм; другий і наступний обертони групи С-Н у діапазоні 0,8-1,2 мкм. З метою оптимізації вибору ділянки спектрального ІЧ діапазону для вимірювання глюкози був виконаний порівняльний аналіз спектрів поглинання глюкози і спектрів інших компонентів крові. Головна складова тут вода. З огляду на збільшення впливу теплового випромінювання середовища в далекому ІЧ діапазоні, а також впливу інших складових крові (аланін, лактат, аскорбат, тріацетин та ін.).

Виконано аналіз сучасного стану існуючих методів і засобів вимірювання глюкози. Розглянуто лабораторні портативні методи, основні реакції глюкози з отртотолуідиновим реактивом чи глюкозооксидазою. В обох випадках вимірювання здійснюють за кольоровістю результуючого розчину чи смужки паперу за допомогою колориметра чи спектрофотометра в заданому діапазоні довжин хвиль. Лабораторний метод дає задовільну похибку до 5%, а портативний дає приблизну оцінку рівня глікемії на рівні 15-20%.

Більш високу точність вимірювання глюкози мають електрохімічні і електрокаталітичні методи. Їхня дія заснована на перетворенні «хімічної інформації» в електричний сигнал на електродах, розділених полімерною мембраною. Особливою рисою таких сенсорів є малі розміри чуттєвого електрода і мінімальний обсяг інвазивного взяття проби крові. Недоліком їх є нестабільність параметрів і малий термін служби.

Мінімальноінвазивні методи засновані на використанні голок і вимірювальних зондів дуже малих розмірів чи вакуумного відсосу крові. При цьому для визначення концентрації глюкози застосовується глюкозооксидаза. У роботі зроблено аналіз перспективних методів неінвазивного вимірювання глюкози: з використанням імплантуємих сенсорів, трансдермальних та зовнішніх вимірювачів. Оптичні методи засновані на спектроскопії комбінаційного розсіювання, фотоакустичної спектроскопії, чи зміни кута поляризації світла видимого діапазону. При цьому використовується оптичний сигнал, що пройшов через тканину, яка містить глюкозу в крові. В роботі показано, що резонансні властивості молекули глюкози, що виявляються в середньому і ближньому ІЧ діапазоні, дають підставу використовувати їх для побудови методів і технічних засобів неінвазивного вимірювання концентрації глюкози в крові.

В роботі запропоновано структурну схему біотехнічної системи контролю рівня глюкози і регулювання інсулінотерапії, за допомогою якої можна одержати математичну модель процесу вуглеводного обміну в організму людини (Рис. 2) і виконувати оптимальну дозировку інсуліну. Головним елементом такої системи є аналізатор ІЧ поглинання глюкози. Його технічні характеристики і конструктивно-технічні властивості повністю визначають ефективність роботи всієї біотехнічної системи інсулінотерапії. До складу аналізатора входять одноканальне чи багатоканальне джерело випромінювання, оптичний вузол і приймач випромінювання, які забезпечують високоточне вимірювання коефіцієнту поглинання у заданому ІЧ діапазону хвиль і далі обчислювання концентрації глюкози. Аналізатор ІЧ поглинання крові повністю забезпечує діяльність підсистеми неінвазивного контролю і моніторингу глюкози і в цілому біотехнічної системи регулювання інсулінотерапії.

У другому розділі виконано дослідження методів визначення концентрації глюкози в крові на основі ІЧ спектрів поглинання. Розглянуто особливості спектральної характеристики поглинання глюкози в діапазоні 2,0-2,5 мкм. На основі загальної моделі відбиття і поглинання приповерхнього шару шкіри з урахуванням зміни в часі поглинання кровоносних судин відповідно до кардіоциклу отримано загальний вираз для функції поглинання.

Вимірювання глюкози необхідно використовувати змінну складову сигналу, корельовану з кардіоциклом.

Визначено функціональні перетворення спектрів поглинання глюкози й інших складових крові як етапи переходу від гільбертового простору спектрів поглинання до n-мірного евклідового простору Rn і далі до оптимального Rm з найбільш вагомими m ознаками спектра глюкози.

Перша задача полягає у визначенні кількості складових крові, що у розглянутому частотному діапазоні ІЧ спектра вносять значний внесок у загальний коефіцієнт поглинання, тобто оптичну щільність D. Розроблено метод, що дозволяє вирішити цю задачу на основі рангу матриці P=DЧDT, де

Доведено, що приведені вище співвідношення виконуються для логарифмічного коефіцієнта поглинання в широкому діапазоні концентрацій глюкози й інших складових. Для оцінки концентрації глюкози запропоновано метод з використанням оптимальної фільтрації спектра води в досліджуваному спектрі крові й обчисленням відношення сигналу «глюкози» до сигналу «води».

Другий спосіб визначення рівня глюкози, запропонований у роботі, заснований на використанні аналогії розпізнавання спектра глюкози в ІЧ діапазоні з розпізнаванням кольору у видимому діапазоні. Для цього в ІЧ діапазоні 2,0-2,5 нм обрані спектральні характеристики чутливості трьох рецепторів, що ідентичні кривим додавання x, y, z прийнятого квазікольорового простору.

Показано, що глюкозі й іншим компонентам крові відповідають свої колірні тони, а насиченість залежить від їх концентрації. Проведено обчислювальні експерименти, що показали достатню точність визначення концентрації глюкози. Для підвищення чутливості методу запропоновано колірну координатну систему з від’ємними трьома векторами для відображення точок кольоровості.

У третьому розділі виконано аналіз вимірювального каналу аналізатора ІЧ поглинання глюкози.

В зв’язку з тим, що вміст води в крові значно перевищує вміст глюкози, величина вихідного сигналу приймача з фільтром для виділення сигналу «глюкози» може бути значно нижче, ніж сигнал «води». Тому розглянуто задачу оптимального відновлення спектра глюкози, а також інших складових крові за даними вимірювань:

В роботі визначено значення параметра статистичної регуляризації б. На основі цього зроблено аналіз припустимих похибок вимірювального тракту глюкози.

В роботі розглянуто основні елементи каналу вимірювання: джерела і приймачі ІЧ випромінювання, скловолоконні лінії, фільтри, які використовуються в спектральному діапазоні 2,0-2,5 мкм. Запропоновано чутливість спектральних методів при вимірюванні глюкози підвищити за рахунок використання призм з повним внутрішнім відбиванням (ATR) та оптичних волокон у спеціальних конструкціях аналізаторів неінвазивного вимірювання глюкози.

Розглянуто питання вибору ділянки тіла людини для проведення вимірювання глюкози. Досліджена спектральна характеристика поглинання шкіри людини в діапазоні 2,0-2,5 мкм. Аналіз показав, що в даному спектральному діапазоні максимальна товщина шкіри та підшкірного шару не повинна перевищувати 6 мм. Цій умові задовольняють області мочки вуха, міжпальцева складка руки.

В роботі зроблено аналіз джерел похибок аналізаторів поглинання каналу вимірювання концентрації глюкози в крові. На підставі виконаних досліджень джерел і приймачів ІЧ випромінювання, оптичних і аналого-цифрових перетворювачів одержані рекомендації що до вибору компонентної бази і схемотехнічних рішень для аналізатора ІЧ поглинання в засобах неінвазивного контролю глюкози крові.

В четвертому розділі розглянуті технічні реалізації вимірювальних каналів аналізаторів ІЧ поглинання глюкози, а також представлені результати лабораторних і модельних експериментів для визначення припустимих похибок вимірювань спектрів поглинання при визначенні концентрації глюкози у крові людини.

Запропоновано спосіб просторової локалізації області вимірювання глюкози в товщині біоткані людини при спільній дії ІЧ випромінювання та ультразвукового променя з модульованою в часі фазою. Це дозволяє отримати корисний сигнал безпосередньо з великих кровоносних судин.

Розроблені схеми аналізаторів ІЧ поглинання глюкози:

- з імпульсним поліхроматичним джерелом випромінювання і вузькосмуговими інтерференційними фільтрами;

- на підставі лазерних джерел ІЧ випромінювання:

а) з частотною модуляцією одного лазера;

б) з використанням матриці лазерів і загальної оптоволоконної системи.

- з використанням Фур’є спектрофотометра (Рис. 4);

- з широкополосними квазікольоровими ІЧ фільтрами.

Для перевірки працездатності та точності розроблених в роботі аналізаторів ІЧ поглинання глюкози і можливості технічної їх реалізації були проведені модельні дослідження. Експерименти проводились в системі MATLAB, шляхом розрахунку різних сумішей глюкози, води та інших компонентів крові, знаходження їх спільної спектральної характеристики поглинання, та рішенням зворотної задачі визначення вмісту первинних складових.

На основі розроблених у дисертації методів визначались оптимальні фільтри для глюкози та води у присутності інших складових крові (Рис. 5). Проводився розрахунок сигналів при фільтрації глюкози та води і по їх співвідношенню визначалась концентрація глюкози. Типове співвідношення сигналу фільтрації глюкози до сигналів інших складових становить 50-100 дб.

Для дослідження впливу похибок вимірювання, які виникають в реальних умовах, додавались завади і шуми з різними ймовірними і спектральними розподілами. Метою досліджень було встановлення максимально допустимих завад для забезпечення необхідної точності визначення концентрації глюкози.

Одержано функціональні залежності похибок вимірювання глюкози аналізатором ІЧ поглинання від нестабільності відліків спектральних даних, кроку дискретизації і ширини ліній спектральних вимірювань, похибки амплітудних вимірювань, рівня регулярних і випадкових завад.

Результати досліджень показали діапазони збереження пропорціонального зв’язку рівня шумів та похибок вимірювання глюкози і досягається 50 дб при відносній похибці визначення глюкози 1%, що значно менше похибок засобів інвазивного вимірювання глюкози. Врахування інших джерел похибок призводить до загальної похибки 5%.

Реальні експерименти по розробленим в дисертації методикам були проведені в інституті ендокринології міста Києва. Для цього проводилось вимірювання глюкози двома способами:

традиційним інвазивним;

шляхом зняття спектральної характеристики поглинання крові за допомогою стандартного спектрофотометра та подальшого розрахунку концентрації глюкози розробленими в дисертації методом.

Результати показали, що запропоновані в роботі неінвазивні засоби забезпечують похибку вимірювання глюкози не більше 5%, що відповідає інвазивним засобам вимірювання глюкози і в 4-5 разів меншу існуючих неінвазивних засобів.

**Висновки по роботі**

. Вибір за результатами досліджень ефективного спектрального діапазону виконання неінвазивного вимірювання змін концентрації глюкози аналізатором ІЧ поглинання дозволив отримати вищі метрологічні характеристики аналізатора ІЧ поглинання глюкози.

. Підвищення ефективності аналізатора неінвазивного контролю концентрації глюкози крові досягається використанням створеного комплексу взаємодіючих технічних, алгоритмічних і програмно-обчислювальних засобів, що забезпечило високоякісний аналіз спектру ІЧ поглинання тканинною структурою.

. Розроблено новий алгоритм роботи аналізатора ІЧ поглинання для контролю змін концентрації глюкози на підставі квазіколірного аналізу трьох інтегральних складових ІЧ діапазону і розрахунку координат різних компонентів крові, що спрощує функціонування, підвищує швидкодію аналізатора і дає можливість проведення динамічних глюкозотолерантних тестів для визначення стадії цукрового діабету.

. Встановлено, що використання буферної контактної оптичної призми, системи ультразвукової модуляції оптичного променя і квазіколірного аналізу трьох інтегральних складових ІЧ діапазону значно підвищує достовірність виконання неінвазивного вимірювання концентрації глюкози.

. Використання розроблених алгоритмів і програм обліку чинників просторової локалізації області вимірювання, розмірів шкірного покриву, заданої глибини ультразукового зондування біотканини і спільної дії на біотканину ІЧ і ультразвукового сигналів дозволяє підвищити надійність неінвазивного визначення змін концентрації глюкози в біотканині.

. Похибка вимірювання концентрації глюкози в крові аналізаторами ІЧ поглинання зменшено відносно існуючих портативних глюкометрів у три рази і досягнута 5% об’єднанням каналів фільтрації спектрів глюкози, води і інших складових крові, шляхом використання методів коваріаційної матриці сигналів і спектрометрії, спеціальними функціональними перетвореннями абсорбційних спектрів глюкози, а також просторовою локалізацією області вимірювання.

. Розроблена модель неінвазивного вимірювання змін концентрації глюкози в крові, яка дозволяє визначати ряд статичних і динамічних параметрів аналізаторів ІЧ поглинання засобів неінвазивного контролю глюкози крові, допустимі похибки на різних етапах перетворень для вимірювання глюкози методом ІЧ поглинання. Результати моделювання забезпечують вибір компонентної бази і розрахунок допустимих похибок на різних етапах перетворень сигналів і на цій основі підвищують якість апаратури неінвазивного вимірювання глюкози крові.

. Основні результати роботи впроваджені та апробовані як у клінічній практиці, так і в навчальному процесі НТУУ «КПІ», а саме:

алгоритм розрахунку концентрації глюкози у цільній крові передано до медичних закладів м. Києва;

програма оптимальної фільтрації багатокомпонентної суміші використовується у навчальному процесі на кафедрі фізічної та біомедичної електроніки НТУУ «КПІ».

**Список опублікованих робіт за темою дисертації**

. Луай Х.А. Афана. Оптимизация спектральных характеристик фотоприемников при инфракрасном мониторинге глюкозы в крови / Луай Х.А. Афана // Электроника и связь. - 2003. - №18. - С. 117-119.

. Луай Х.А. Афана. Неинвазивный измеритель глюкозы / Луай Х.А. Афана // Электроника и связь. - 2005. - №28. - С. 54-57.

. Луай Х.А. Афана. Інформаційні технології високого розрізнення у медичних дослідженнях / Луай Х.А. Афана, В.О. Фесечко, Н.Г. Іванушкіна, А.О. Попов, Є.С. Карплюк // Технічна електродинаміка. - 2006. - Ч. 1. - С. 123-128.

Автор розробив методику вимірювання глюкози на підставі технології високого розрізнення у амплітудній і частотній областях.

. Луай Х.А. Афана. Неинвазивный мониторинг глюкозы крови / Луай Х.А. Афана, В.А. Фесечко, В.Ф. Сташкевич // Электроника и связь. - 2007.-Ч. 2.-С. 51-56.

Автор виконав функціональний аналіз зв’язку вимірювальних даних і дійсних спектрів поглинання глюкози крові.

. Луай Х.А. Афана. Анализатор инфракрасного поглощения для неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови / Луай Х.А. Афана, В.А. Фесечко, В.В. Романов, А.А. Елизаров // Электроника и связь. - 2009. - Ч. 2. - С. 230-235.

Автор розробив аналізатор ІЧ поглинання у складі біотехнічної системи моніторингу глюкози крові.

. Луай Х.А. Афана. Адаптивный метод анализа сигналов вызванных потенциалов / Луай Х.А. Афана, В.А. Фесечко, Хишам Абу Химед // Электроника и связь. - 2001. - №10. - С. 43-44.

Автор розробив критерій вибору оптимальних параметрів ідентифікації сигналів.

. Луай Х.А. Афана. Особенности построения систем электрокардиографии высокого разрешения для выявления поздних потенциалов предсердий / Луай Х.А. Афана, В.А. Фесечко, Н.Г Иванушкина // Электроника и связь. - 2003. - №20. - С. 167-170.

Автором визначено розрядність аналого-цифрового перетворення для сигналу, обмеженого за спектром і відношенням сигналу до шуму.