

**Національна академія наук України
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова**

КОВИРЬОВА Олександра Валеріївна



УДК 004.942

**МОДЕЛІ І ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ЕКСПРЕСНОЇ
ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В БІОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНІ**

05.13.06 – інформаційні технології

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у відділі перетворювачів форми інформації в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Романов Володимир Олександрович,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
НАН України, завідувач відділу
перетворювачів форми інформації.

Офіційні опоненти: докторка технічних наук, професорка
Кошева Лариса Олександрівна,
Національний авіаційний університет
Факультет екологічної безпеки, інженерії
та технологій, завідувачка кафедрою
біокібернетики та аерокосмічної медицини,

кандидат технічних наук
Конотоп Дмитро Ігорович,
провідний інженер-конструктор
ДП «Антонов».

Захист відбудеться «08» травня 2024 року о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.194.03 в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України за адресою: 03187, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічному архіві Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України за адресою: 03187, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40.

Автореферат розісланий «05» квітня 2024 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Б. Галелюка

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Завдяки розвитку інформаційних технологій у світі відбулася четверта промислова революція, яка поширилася практично на всі області діяльності людини. Важлива складова сучасних інформаційних технологій – це бездротові та дротові сенсорні мережі.

Найбільш перспективна розробка на сьогодні, на нашу думку, це бездротова сенсорна мережа (БСМ) і технології на її основі для експрес-оцінки стану рослин, яка розроблена колективом авторів в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. БСМ призначена для розв'язання однієї з підзадач точного землеробства, а саме для визначення у реальному часі стану рослин в умовах дії стресових факторів різної природи. Робота бездротової сенсорної мережі базується на вимірюванні «розумним» біосенсором індукції флуоресценції хлорофілу рослини (ІФХ). БСМ це мережа бездротових біосенсорів, які об'єднані між собою радіоканалом. Ця мережа призначена для використання у промисловому землеробстві та екологічному моніторингу для діагностики стану рослин та є розвитком розроблених в ІК НАН України приладів сімейства "Флоратест".

Метод ІФХ діагностики стану рослин є неінвазивним та може бути використаним у різних сферах рослинництва. Дослідженням ІФХ присвячені роботи таких вчених: R.J. Strasser, M.H. Kalaji, V.N. Goltsev, O.I. Китаєва, O.I. Присяжнюка, M.Ф. Стародуба, A.Б. Рубіна, Г.Ю. Різніченко, В.О. Шерера та ін.

Нагальна потреба медицини в експресній діагностиці таких інфекційних захворювань людей та тварин, як пташиний грип, сибірська язва, туляремія, хвороба Ньюкасла та інших, а також нещодавні події, пов'язані із загрозою глобальної пандемії COVID-19, визначили необхідність у розробці ефективних методів скринінгу для стримування поширення мікробних та вірусних патогенів.

Крім того, виникає потреба у розробці інструментальних засобів експресної діагностики для застосування у медицині для підтримки медичного скринінгу на основі опитувальників для оцінки якості життя.

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

Дисертаційна робота виконувалась у 2009–2023 роках в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України у відділі перетворювачів форми інформації у рамках тематики відділу зокрема, за проєктами: «Портативний біосенсор з радіоканалом для експрес-діагностики захворюваності на пташиний грип та інші гострі вірусні інфекції» (№ держреєстрації 0107U005187, 0110U005113, 0111U004434, 0112U001925) програми НАН України «Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб»; «Мультисенсорна технологія експрес-діагностики стану рослин» (№ держреєстрації 0113U000828, 0114U002675, 0115U000890, 0116U002759, 0117U000647) програми НАН України «Сенсорні прилади для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб: метрологічне забезпечення та дослідна експлуатація»; «Розробка та підготовка

до серійного виробництва бездротових мереж «розумних» мультисенсорів та біосенсорних приладів для експрес-діагностики стану виноградних і плодоягідних культур та контролю процесу виробництва вина. Розділ 1. Розробка та підготовка до серійного виробництва бездротових мереж «розумних» мультисенсорів та біосенсорних приладів» (№ держреєстрації 0118U000961, 0119U002302, 0120U002164, 0121U109222) програми НАН України «Розумні» сенсорні прилади нового покоління на основі сучасних матеріалів та технологій»; «Створення інтелектуальної сенсорної мережі для аграрного виробництва на основі трансдисциплінарних підходів» (№ держреєстрації 0113U005411); «Створення інтелектуальної сервіс-орієнтованої системи моніторингу стану сільськогосподарських» (№ держреєстрації 0115U005212); «Розроблення нових моделей апаратно-програмного комплексу для підтримки наукових досліджень у медицині» (№ держреєстрації 0119U001851).

Проект УНТЦ: "Розробка і підготовка до серійного виробництва розподілених інтелектуальних біосенсорів для захисту довкілля" (№ держреєстрації 0115U000885).

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає є створенні нових моделей, нових інформаційних технологій та інструментальних засобів експресної діагностики для біологічно-медичного застосування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз існуючих моделей фотосинтезу та їх зв'язку з моделями індукції флуоресценції хлорофілу;
- розробити модель індукції флуоресценції хлорофілу методом крокової регресії;
- виконати аналіз оптичних та технічних параметрів комп'ютерних портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу;
- виконати аналіз сучасних промислових приладів на базі поверхневого плазмонного резонансу для виявлення вірусних інфекцій;
- виконати дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу;
- розробити методичне забезпечення для експресної оцінки стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу;
- розробити інформаційну систему для мобільного застосування та відповідні програмні засоби для попередньої діагностики на основі медичних опитувальників.

Об'єкт дослідження – процеси отримання та обробки біомедичної інформації.

Предмет дослідження – моделі, методи, інформаційні технології і інструментальні засоби експресної діагностики для біологічно-медичного застосування.

Методи дослідження. У процесі дослідження використані наступні методи: методи математичної статистики для аналізу даних, отриманих під час експериментів над рослинами, метод крокової регресії для побудови моделі ІФХ. Для програмної реалізації використано об'єктно-орієнтований підхід та мову програмування Java.

Наукова новизна отриманих результатів. В роботі отримано наукові результати:

Вперше:

– розроблено математичну модель індукції флуоресценції хлорофілу, яку побудовано методом крокової регресії, що дозволяє пришвидшити обробку отриманої інформації для оцінки стану рослин;

– розроблено інформаційну систему для попередньої діагностики стану здоров'я людини, яка відрізняється від відомих оцінкою якості життя у віддаленому режимі на основі медичних опитувальників різного призначення.

Удосконалено:

– удосконалено метод оцінювання стану рослин під впливом надлишкового вмісту важких металів у ґрунті шляхом вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу з урахуванням зовнішніх ознак досліджуваних рослин, що надає можливість отримувати статистично значимі дані для прийняття управлінських рішень.

Практичне значення отриманих результатів. Робота має практичне спрямування. Розроблено:

– програмний засіб для аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу, який дозволяє розрахувати характерні параметри та значення середньої кривої для дослідної групи кривих та пришвидшити їх обробку;

– методичне забезпечення для експрес-діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу;

– програмний засіб для оцінки якості життя "QofLQ" на базі опитувальника SF-36;

– програмний засіб "Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу (MenstrualCalc)" для попереднього виявлення симптомів гінекологічних захворювань.

Діючий взірець біосенсору з радіоканалом для експрес-діагностики захворюваності на пташиний грип та інші вірусні інфекції передано для дослідної експлуатації на кафедру генетики, селекції і насінництва імені проф. М.О. Зеленського Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Програмні засоби для оцінки якості життя та для виявлення відхилень менструального циклу, впроваджені відповідно в Інституті експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України та в Центрі інноваційних медичних технологій НАН України.

Особистий внесок здобувача. Наведені в роботі результати отримано здобувачем особисто або за безпосередньої участі. Основні положення, винесені на захист, і висновки сформульовані автором особисто. У друкованих виданнях, опублікованих у співавторстві, особисто здобувачеві належать: у [9] – результати аналізу портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу; у [1–3] – випробування портативного приладу «Флоратест»; у [4, 12, 16] – результати розробки програмного засобу для аналізу кривих ІФХ; у [8, 10, 11, 15, 22–25, 29, 31, 32] – аналіз кривих ІФХ; у [7, 21] – результати аналізу моделей фотосинтезу; у [6, 14, 17, 18, 26, 27, 30, 33] –

результати розробки програмного засобу для оцінки якості життя; у [31] – результати побудови моделі кривих ІФХ; у [11] – узагальнена структура обробки інформації для точного землеробства; [19, 20, 28] – аналіз приладів на базі поверхневого плазмонного резонансу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на таких конференціях: the IEEE Workshop on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications" (Дортмунд, Німеччина, 2007); the IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications" (Прага, Чехія (2011), Берлін, Німеччина (2013), Мец, Франція (2019), Дортмунд, Німеччина (2023); The International conference "Information theories and applications" (Варна, Болгарія, 2008, 2017, 2021); 12th International conference on Applied Internet and Information Technologies (Зренянин, Сербія, 2022); Міжнародна науково-технічна конференція "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології" (Одеса, Україна, 2008, 2016); X Міжнародна конференція з біоніки та прикладної біофізики (Київ, Україна, 2008); Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті» (Харків, Україна, 2011, 2014); XX Міжнародна конференція "Knowledge-Dialogue-Solution" (Київ, Україна, 2014); Міжнародна конференція з автоматичного управління (Суми, Україна, 2016); Всеукраїнська науково-практична конференція "Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку" (Київ, Україна, 2022); International scientific symposium "DigiHealthDay" (Пфарркірхен, Німеччина, 2020, 2021).

Публікації. Результати досліджень представлено у 33 публікаціях: 6 у виданнях, які індексуються у міжнародній наукометричній базі Scopus, 7 у фахових журналах, 9 публікацій у збірниках матеріалів наукових конференцій, у тому числі міжнародних, 4 у нефахових виданнях, 3 публікації у міжнародних журналах, 1 патент України, 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 3-х розділів, висновку, списку використаних джерел, 12 додатків, викладена на 213 сторінках машинописного тексту (комп'ютерний друк), з них: 131 – основного тексту, 64 рисунки, 43 таблиці, список використаних джерел 149 найменувань на 16 сторінках, додатки на 48 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету досліджень, задачі, предмет та методи досліджень, розглянуто наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** розглянуто: технологію точного землеробства, яка дозволяє автоматизувати процес вирощування сільськогосподарських культур; методи діагностики стану рослин; процес фотосинтезу, метод індукції флуоресценції хлорофілу, як метод визначення інтенсивності фотосинтезу, та його використання для експрес-діагностики стану рослин; моделі фотосинтезу та його складових; оптичні та технічні параметри комп'ютерних портативних

приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу, біосенсорні прилади для виявлення вірусних інфекцій, медичні інформаційні діагностичні системи для медицини 4П. Зазначені переваги та недоліки цих засобів та особливості їх використання.

Інформативні параметри індукції флуоресценції хлорофілу – це потужний інструмент аналізу та вивчення дії різноманітних стресових чинників на рослини при екологічному моніторингу та захисті довкілля. В основу методу аналізу ІФХ покладено реєстрацію зміни інтенсивності флуоресценції хлорофілу адаптованих до темноти зразків після включення постійного збуджуючого світла. За допомогою портативних приладів сімейства "Флоратест" для вимірювання ІФХ можна отримати криву наступного вигляду (рис. 1).

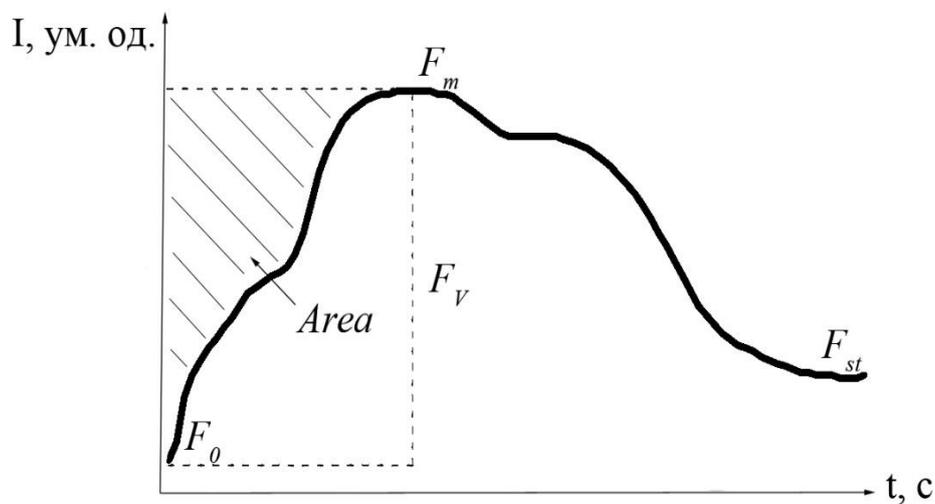


Рис. 1. Типова крива індукції флуоресценції хлорофілу

- F_0 – "фоновий" (початковий) рівень флуоресценції;
- F_m – максимальний рівень флуоресценції хлорофілу;
- F_{st} – стаціонарний рівень флуоресценції;
- $F_v = F_m - F_0$ – максимум варіабельної флуоресценції;

$$Area = \int_{t_{F_0}}^{t_{F_m}} (F_m - F_t) dt, \text{ де } t_{F_0}, t_{F_m} - \text{ час вимірювання параметрів } F_0 \text{ та } F_m$$

відповідно, Area, площа над кривою ІФХ між F_0 та F_m .

За участю дисертанта в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України розроблена нова інформаційна технологія для оцінки стану рослин на великих територіях сільськогосподарських угідь та розроблено і виготовлено дослідний взірець бездротової сенсорної мережі. Впровадження у промислове цифрове сільське господарство нової інформаційної технології дозволить у реальному часі визначити стан рослин, які потерпають від дії того чи іншого стресового фактору і виробити відповідне управлінське рішення для компенсації дії визначеного фактору.

Встановлено, що в існуючих промислових системах точного землеробства в рослинництві практично відсутні засоби та методики вимірювання динамічних змін стану рослин. Головними недоліками існуючих традиційних, як правило, біохімічних методів та засобів діагностики стану рослин є тривалість у часі, велика вартість, необхідність підготовки зразків об'єктів вимірювання та складність реалізації. На відміну від стандартних методів, метод індукції флуоресценції хлорофілу є експресним і не має спеціальних вимог до підготовки зразків для діагностики, крім застосування нетривалої попередньої темної адаптації.

Доведено, що альтернативний до стандартних методів діагностики стану рослин це метод індукції флуоресценції хлорофілу, реалізація якого дозволяє досліджувати стан рослин на ранніх етапах розвитку в експресному режимі.

Показано, що існуючі моделі фотосинтезу слабо пов'язані між собою і відображають окремі стадії цього процесу. Так, наприклад, деякі з розроблених моделей не можуть бути використані на практиці широким колом користувачів, оскільки вимагають складних обчислень та додаткових витрат для їх здійснення.

В результаті аналізу технічних характеристик існуючих приладів для вимірювання ІФХ встановлено, що основний їх недолік це недостатній інтелект. Нині кінцева обробка даних здійснюється у комп'ютері або у хмарному середовищі. Вбудовані компоненти штучного інтелекту дозволяють здійснювати інтерпретацію результатів вимірювання та доведення управлінських рекомендацій до природної мови безпосередньо в приладі. Крім того, більшість приладів мають значні розміри та енергоспоживання. На відміну від закордонних приладів розроблені в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова, портативні прилади сімейства "Флоратест" мають на порядок меншу вартість, відкритість програмного забезпечення, можливість перепрограмування та модернізації сенсорів під задачі користувача.

Проаналізовані параметри та умови застосування промислових приладів на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР) та засобів для експресного визначення бактеріальних та вірусних інфекцій. Показано, що сучасний стан розвитку таких приладів поки що обмежує їх використання лабораторними умовами, що не відповідає умовам скринінгу для виявлення епідемічних ситуацій. На відміну від промислових ППР-приладів дослідні ППР-прилади, розроблені в ІК НАН України, були призначені для експлуатації у польових умовах у віддаленому режимі, а саме в зонах епідемій з карантинними обмеженнями.

За результатами аналізу доведено, що основним засобом масової оцінки якості життя на сьогодні є опитувальники. За їх оцінкою у разі потреби пацієнтам можуть бути надані необхідні медичні послуги. Для експресної оцінки якості життя використовуються спеціальні інформаційні технології, які побудовані як відкриті системи і постійно вдосконалюються у зв'язку з появою нових опитувальників, уточненням попередніх оцінок якості життя та використанням нових профілактичних засобів.

У **другому розділі** побудовано математичну модель індукції флуоресценції хлорофілу методом крокової регресії, виконано аналіз індукції флуоресценції хлорофілу, значення яких отримано під час експериментів, розроблено програмний засіб для аналізу кривих ІФХ та удосконалено методичне забезпечення проведення випробувань методом ІФХ.

Протягом 2012–2016 рр. досліджено зміну індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою приладів сімейства «Флоратест», що дало змогу визначити тривалість проведення експериментів методом ІФХ у лабораторних умовах.

Виконано перевірку експериментальних даних на нормальність, яка здійснювалася методом Саркаді та Шапіро-Вілка. Перевірка методом Саркаді показала, що всі проаналізовані 90 груп даних підпорядковуються нормальному розподілу. Однак цей метод має низький ранг, тому отримані дані не можна вважати достовірними і в подальшому не враховуються. В результаті аналізу отриманих нами експериментальних даних методом Шапіро-Вілка виявлено, що вони не підпорядковуються нормальному розподілу. Рекомендовано замість середніх значень груп ординат використати значення медіани, 25 і 75 процентиля.

Проведено дослідження з метою визначення залежності індукції флуоресценції хлорофілу від місця розташування сенсора портативного приладу "Флоратест" на листі рослини. На основі аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу, параметрів флуоресценції хлорофілу F_0 , F_m , F_v , F_v/F_m , A_{rea} та розрахованих коефіцієнтів порівняння можна зробити висновок, що під час випробувань сенсори слід розміщувати на листу рослини таким чином, щоб оптичний сенсор не потрапляв на великі центральні жилки. На невеликих рослинах, які мають розподілену систему тонких жилок, сенсори можна розміщати випадковим чином, оскільки товщина їх не вплине на результати вимірювання кривих ІФХ.

Виконано аналіз результатів експериментів щодо залежності параметрів флуоресценції хлорофілу від параметрів навколишнього середовища, для цього розраховано коефіцієнти кореляції Пірсона між параметрами флуоресценції та параметрами оточуючого середовища (температура повітря, температура ґрунту, вологість повітря, кислотність, вологість ґрунту). Доведено, що під час довготривалого моніторингу стану доквілля за допомогою бездротового інтелектуального біосенсора потрібно враховувати зв'язок параметрів флуоресценції хлорофілу з метеопараметрами.

Один із шляхів подальшого аналізу ІФХ – це представлення отриманої залежності за допомогою математичного рівняння. Як математичний апарат обрано регресійний аналіз. Як процедура оцінювання параметрів використовується метод найменших квадратів. Для перевірки статистичної значущості різниці між середніми використано дисперсійний аналіз.

Тип регресійної моделі визначено в результаті аналізу моделей ІФХ різного типу, а саме моделі з «оберненим» перетворенням відносно предиктора, моделі з логарифмічним перетворенням відносно предиктора, моделі з перетворенням типу квадратного кореня відносно предиктора,

мультиплікативної моделі, експоненціальної та поліноміальних моделей. Для подальшого аналізу обрано поліноміальну модель у залежності від фіктивних змінних.

Блок-схема алгоритму крокової регресії показана на рис. 2.

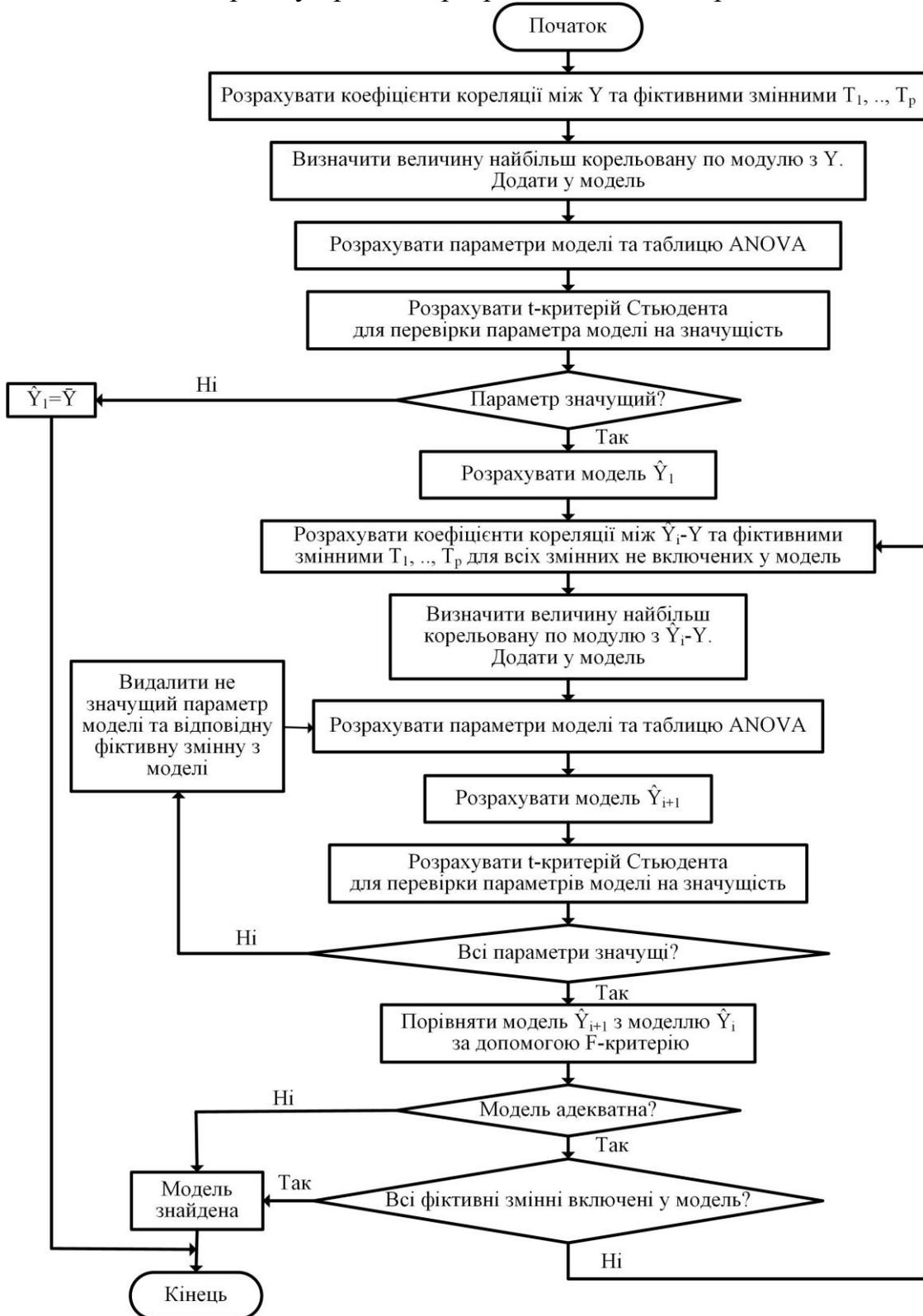


Рис. 2. Блок-схема алгоритму крокової регресії

Побудовано моделі індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою методу крокової регресії. Розглянемо результати побудови моделей для досліду над рослиною «Огірки». Група w3 – контрольна група, w1, w2 – дослідні групи.

Рівняння мають вигляд:

$$Y_{w1} = 259,653 + 76,57296*t + 4,32E-13*t^8.$$

$$Y_{w1} = 239,0808 + 73,96822*t - 0,01315*t^3 + 6,84E-09*t^6.$$

$$Y_{w3} = 257,0376 + 7,47E-13*t^8 + 68,46626*t.$$

Значення коефіцієнта детермінації R^2 для групи w1 – 0,986381, w2 – 0,991645, w3 – 0,982597. Всі параметри моделей значущі. Значення коефіцієнтів детермінації наближається до одиниці, що свідчить про високу якість моделі.

На рис. 3 показано графік залежності ІФХ від часу для дослідних груп у останній день експерименту та побудовані математичні моделі.

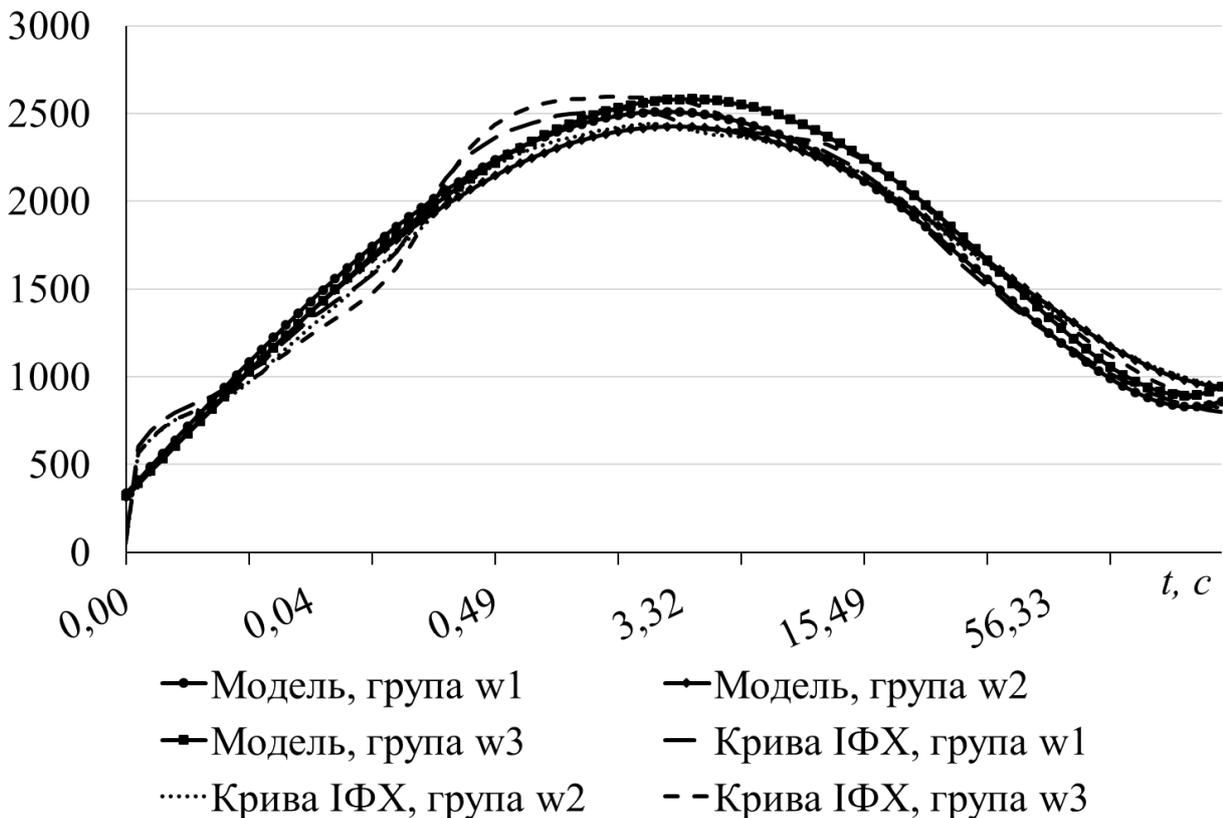


Рис. 3. Криві ІФХ і побудовані моделі

Розроблено комп'ютерну програму "Програмний засіб для аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу "CFiAnalyzer"", яка призначена для аналізу значень індукції флуоресценції та дозволяє розраховувати параметри флуоресценції та побудувати моделі ІФХ за допомогою методу крокової регресії. Всі ці функції дозволяють суттєво зменшити час на обробку кривих ІФХ, які отримані під час експериментів (рис. 4).

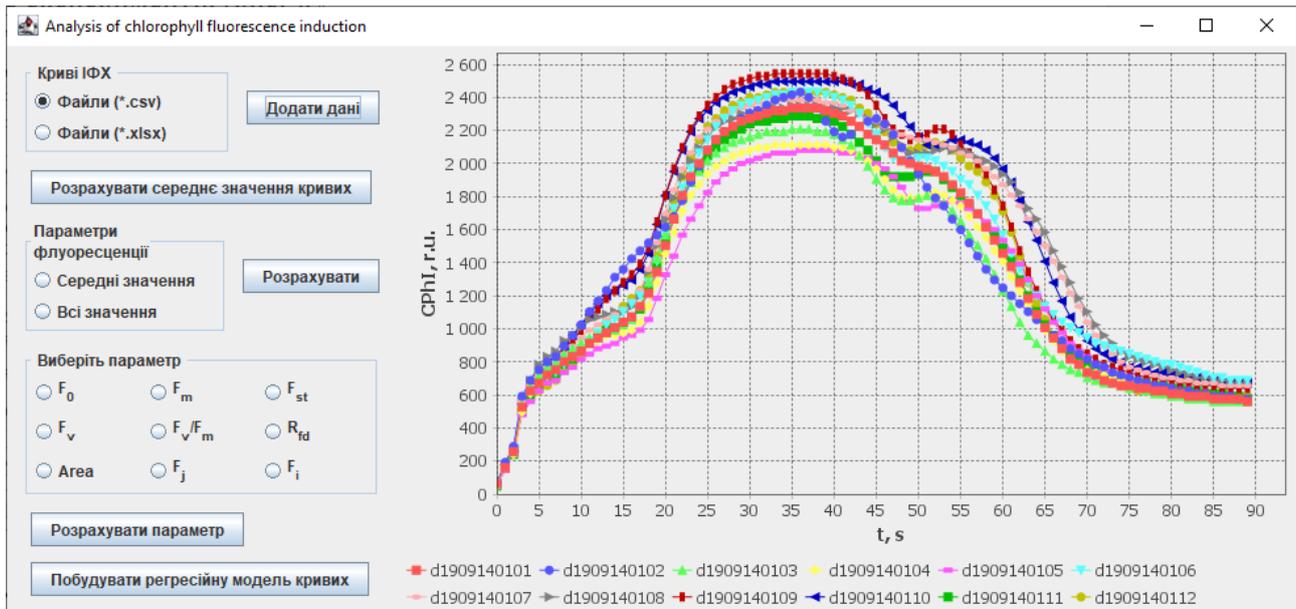


Рис. 4. Головне вікно програмного засобу

Отже отримано інструмент, який дозволяє замінити виміряні значення ІФХ на математичну модель. Це дозволяє зменшити обсяг даних для зберігання.

На основі результатів аналізу значень ІФХ різними методами розроблено методичне забезпечення проведення досліджень рослин методом ІФХ, яке включає наступні етапи: планування експерименту, вирощування рослин, проведення експерименту, обробка результатів експерименту.

Побудовано узагальнену структуру обробки інформації для точного землеробства, яка може адаптуватися під різні умови використання, наприклад, в сільському господарстві, екологічному моніторингу, тепличних господарствах тощо. Таким чином, визначено місце приладів та сенсорів ІФХ у точному землеробстві.

В **третьому розділі** представлені результати розробки інструментальних засобів експресної діагностики для застосування у медицині.

Слід зазначити, що в Україні практично відсутні програмні засоби підтримки та експертної оцінки результатів індивідуальних опитувань, що не дозволяє лікарям загальної практики або сімейним лікарям своєчасно оцінити стан пацієнта і в разі потреби надати рекомендацію про необхідність відповідної діагностики у профільному медичному закладі. Тому мета роботи полягала у розробці інформаційної системи для попередньої діагностики, яка призначена для роботи з різними опитувальниками медичного призначення.

Передбачено одночасний доступ багатьох користувачів до системи та можливість обирати різні опитувальники у залежності від рекомендацій або вказівок лікаря.

Блок-схема роботи системи показана на рис. 5. Спочатку пацієнт має авторизуватися у системі, для цього треба ввести свої пароль та email, а також вибрати опитувальник.

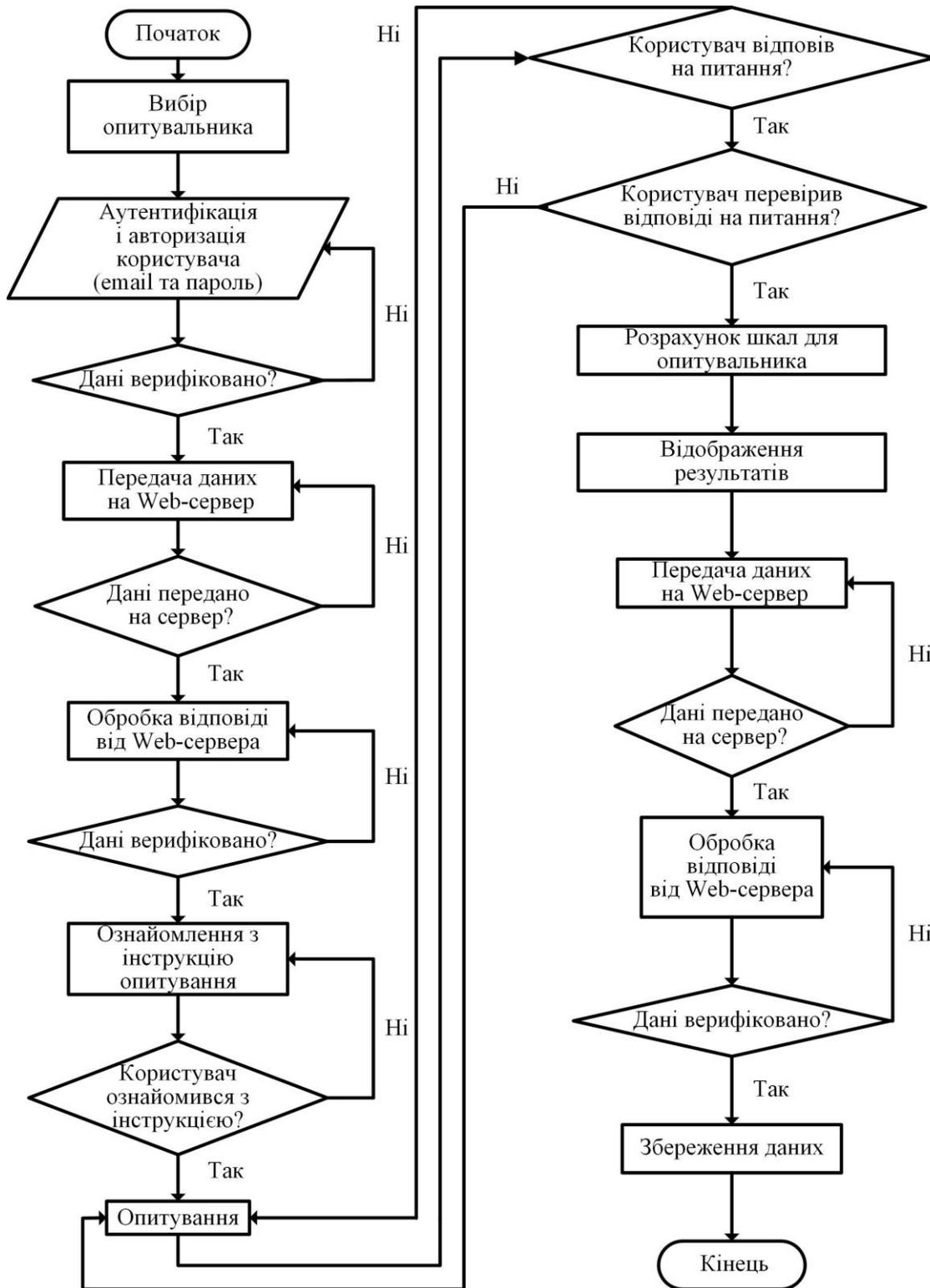


Рис. 5. Блок-схема алгоритму роботи інформаційної системи для попередньої діагностики на основі медичних опитувальників

Якщо авторизація успішна, пацієнт переходить до читання інструкції до опитувальника, і після цього переходить до опитування. В залежності від опитувальника можна обирати один або декілька варіантів відповідей. На всі питання необхідно відповісти. Після завершення опитування дані зберігаються в базі даних, розраховуються шкали та мають бути відправлені на Web-сервер.

Дані опитування зберігаються в базі даних, для якої нами розроблено схему бази даних (рис. 6).

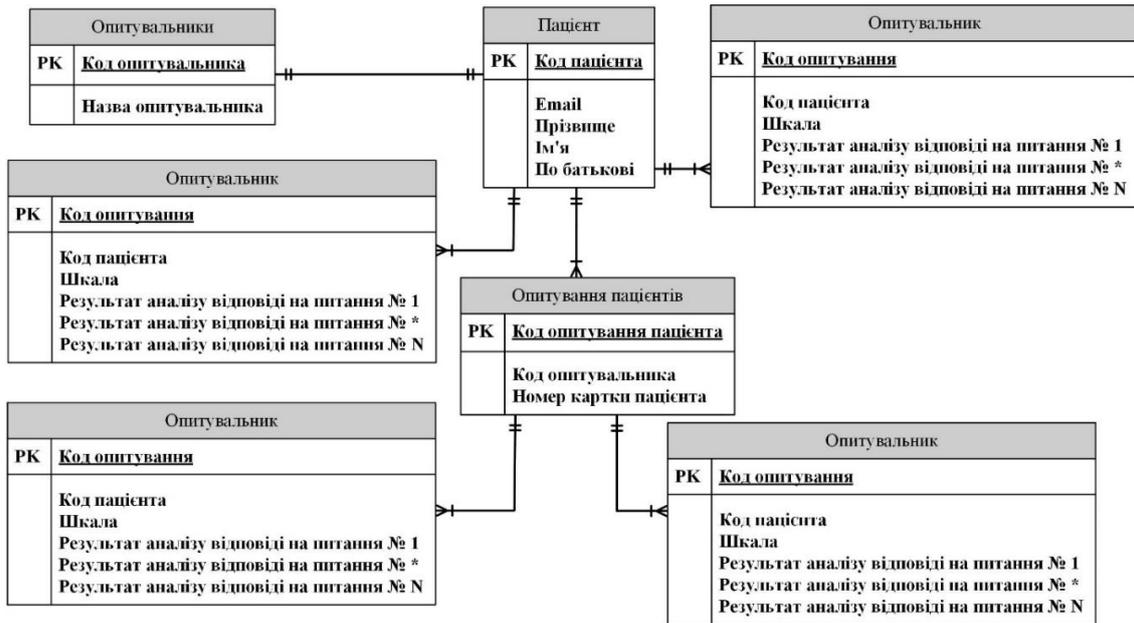


Рис. 6. Діаграма «сутність-зв'язок»

Оцінку якості життя (ЯЖ) проводять шляхом анкетування, пацієнтам пропонують відповісти на низку питань у комфортних умовах. Українська версія MOS SF-36 пройшла три етапи гармонізації та культурної адаптації в ДУ "Національний інститут фтизіатрії і пульмонології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України".

Оцінка ЯЖ за допомогою опитувальника SF-36 складається із 36 питань, об'єднаних у 9 шкал: фізична активність (Physical Functioning, PF), роль фізичних проблем в обмеженні життєдіяльності (Role Physical Functioning, RP), біль (Bodily Pain, BP), життєздатність (Vitality, VT), соціальна активність (Social Functioning, SF), роль емоційних проблем в обмеженні життєдіяльності (Role Emotional, RE), психічне здоров'я (Mental Health, MH), загальне здоров'я (General Health, GH), стан здоров'я у порівнянні з тим, що було рік тому та двох комплексних: фізичний компонент здоров'я (Physical Component Summary, PCS, складові шкали – PF, RP, BP, GH), психологічний компонент здоров'я (Mental Component Summary, MCS, складові шкали – VT, SF, RE, MH). Розроблено програмний засіб для оцінки якості життя "QofLQ", призначений для використання на операційній системі Android (рис. 7).

Опис
<p>Це програма для проведення опитування для оцінки якості життя. Якість життя сьогодні є не тільки надійним, інформативним та економічним методом виміру здоров'я як на індивідуальному, так і на груповому рівні, але й важливим інструментом оцінки методів лікування, обстеження та підготовки медичного персоналу.</p> <p>В даний час для опитування доступна коротка форма неспецифічного опитувальника для визначення якості життя (The 36-Item Short Form Health Survey) на українській мові.</p>
<p>Далі</p>

Рис. 7. Вікно програми

Проведено дослідження серед співробітників наукового відділу ІК НАН України. На рис. 8 показано груповану гістограму з результатами опитування людини з кодом 01, стать жіноча, вік 73: розраховані шкали PF, RP, BP, GH, VT, SF, RE, MH, норми США для жінок віку 65 років та старше. Видно, що значення шкали фізична активність (PF) вище значень норми США. Значення шкали соціальна активність (SF), роль емоційних проблем в обмеженні життєдіяльності (RE) та психічне здоров'я (MH) нижче значень норми США. Значення шкал: роль фізичних проблем в обмеженні життєдіяльності (RP), біль (BP), життєздатність (VT), та загальне здоров'я (GH) – нижчі, ніж норми США.

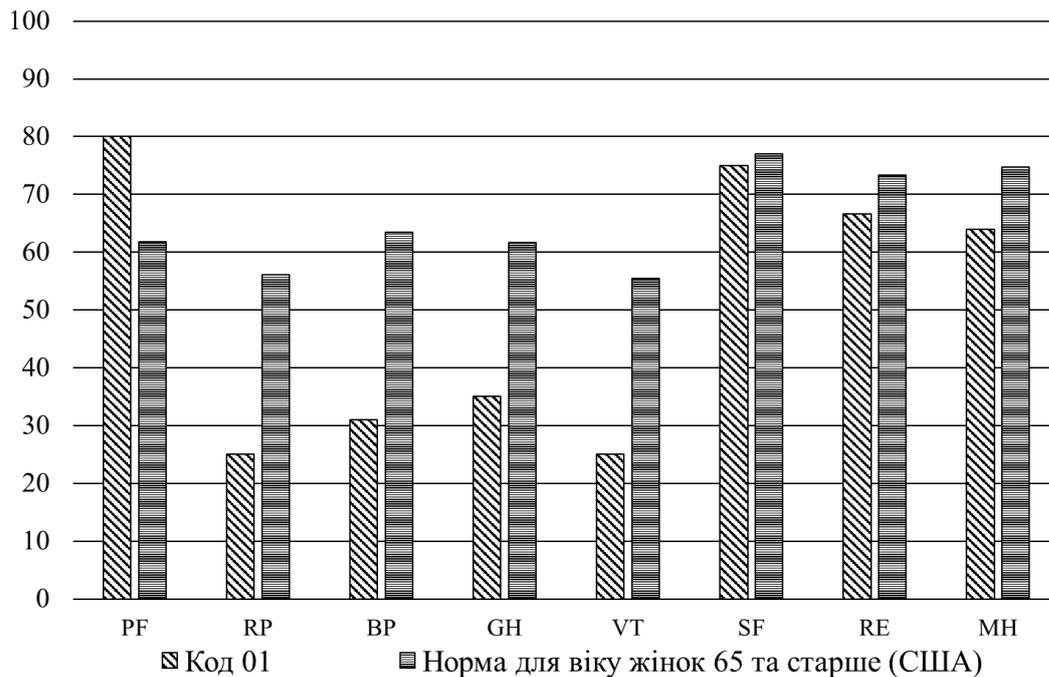


Рис. 8. Результати опитування людини з кодом 01

Проведено тестування та перевірку роботи програмного засобу серед співробітників наукового відділу ІК НАН України. На цій основі підготовлено скринінгову програму для оцінки якості життя співробітників наукового закладу ІК НАН України в цілому.

В Центрі інноваційних медичних технологій НАН України розроблено критерії аномальних маткових кровотеч (АМК) на основі міжнародних критеріїв FIGO (The International Federation of Gynecology and Obstetrics) та «Уніфікованого клінічного протоколу первинної, вторинної (спеціалізованої) та третинної (високоспеціалізованої) медичної допомоги аномальні маткові кровотечі» та створено опитувальник, який складається з семи питань. Нами розроблено комп'ютерну програму для самостійного проведення опитування за цим опитувальником. Мобільний додаток "Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу (MenstrualCalc)" призначений для виявлення будь-яких відхилень менструального циклу від норми, що включає зміни регулярності і частоти менструацій, тривалості кровотечі, кількості крові, що втрачається та болісності, які можуть бути симптомами різних гінекологічних захворювань.

Розроблено програмний засіб для використання на мобільних пристроях та планшетах на базі двох спеціалізованих опитувальників у якому закладено можливість передачі результатів опитування на Web-сервер.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано і показано, що на сьогодні в існуючих системах точного землеробства в рослинництві відсутні засоби та методики вимірювання динамічних змін стану рослин у реальному часі, що не дає змогу інтерпретувати стан рослин. Обґрунтовано, що альтернативним до стандартних методів діагностики стану рослин є метод індукції флуоресценції хлорофілу, інформаційна технологія реалізації якого дозволяє діагностувати стан рослин у реальному часі.
2. Показано, що існуючі моделі фотосинтезу відображають тільки окремі стадії цього процесу, що не дає можливості прогнозувати динаміку розвитку рослин.
3. На основі аналізу технічних характеристик закордонних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу встановлено, що основними їх недоліками є закритість програмного і системного забезпечення та неможливість перепрограмування під задачу користувача. На відміну від закордонних аналогів, прилади сімейства "Флоратест" побудовані як відкриті системи, що дає можливість користувачам програмувати та модернізувати сенсори під свої задачі.
4. Проаналізовано параметри та особливості застосування промислових приладів на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР) різних виробників. Показано, що практично усі промислові ППР-прилади призначені для роботи в лабораторних умовах, у них відсутня можливість бездротового зв'язку, що не дозволяє використовувати їх у дистанційному режимі, причому деякі з них працюють під управлінням комп'ютера. Промислові ППР-прилади не призначені для роботи у польових умовах, тому, не зважаючи на їх експресність, вони не можуть бути використані для скринінгових робіт у зонах епідемій пташиного грипу, коров'ячого лейкозу та інших інфекційних або вірусних захворювань. На відміну від промислових ППР-приладів таку можливість мали дослідні зразки ППР-сенсорів.
5. З використанням математичних методів проаналізовано та експериментально досліджено у польових умовах вплив параметрів довкілля на значення індукції флуоресценції хлорофілу, а саме: температури ґрунту і повітря, вологості ґрунту і повітря, кислотності ґрунту. Встановлено, наявність залежності між параметрами флуоресценції та температурою повітря і ґрунту. На основі отриманих результатів розроблено методичне забезпечення для діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу, яке включає перелік рослин індикаторів, ознаки надлишкового вмісту елементів у ґрунті, приклад схеми експерименту та шаблон журналу експерименту.

6. Методом крокової регресії побудовано математичну модель індукції флуоресценції хлорофілу. На основі цієї моделі розроблено новий програмний засіб для аналізу значень індукції флуоресценції хлорофілу, який дозволяє розрахувати характерні параметри та побудувати модель ІФХ.
7. Вперше розроблено інформаційну систему для попередньої діагностики на основі медичних опитувальників, у рамках якої отримано нові алгоритми та програмні засоби для медичного інформаційного комунікатора з опитувальниками для оцінки якості життя та виявлення відхилень від норми менструального циклу. Це дає можливість оцінювати стан здоров'я пацієнта у віддаленому режимі та зменшити час на обробку даних опитування.
8. Впроваджено методичне забезпечення для експрес-діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу, що дозволило підвищити точність оцінки стану рослин. Впроваджено програмні засоби для оцінки якості життя та відхилень менструального циклу від норми на основі медичних опитувальників, що дозволило зменшити кількість помилок при анкетуванні у ручному режимі.

СПИСОК ПРАЦЬ ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах

1. Romanov V., Fedak V., Galelyuka I., Sarakhan Y., Skrypnyk O. Portable Fluorometer for Express-Diagnostics of Photosynthesis: Principles of Operation and Results of Experimental Researches. *2007 4th IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. Dortmund, Germany. 2007. P. 570–573. DOI: 10.1109/IDAACS.2007.4488485.
2. Romanov V., Artemenko D., Galelyuka I., Kovyrova O., Sarakhan Y. and V. Fedak, Computer devices for precision agriculture. *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, Prague, Czech Republic. 2011. P. 26–29. DOI: 10.1109/IDAACS.2011.6072704.
3. Palagin O., Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Artemenko D., Kovyrova O., Sarakhan Y. Computer devices and mobile information technology for precision farming. *2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*, Berlin, Germany. 2013. P. 47–51. DOI: 10.1109/IDAACS.2013.6662637.
4. Romanov V., Galelyuka I., Antonova H., Kovyrova O., Hrusha V., Voronenko O. Application of Wireless Sensor Networks for Digital Agriculture. *2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, Metz, France. 2019. P. 340–344. DOI: 10.1109/IDAACS.2019.8924267.
5. Romanov V., Galelyuka I., Hrusha V., Voronenko O., Kovyrova O., Antonova H., Kedych A. Smart Systems for Precision Agriculture, Environmental Protection and Healthcare. *Proceedings of the The 12th IEEE International*

Conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications" (IDAACS'2023), Dortmund, Germany. 2023 7–9 September. P. 408–413. DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348758.

6. Romanov V.O., Galelyuka I.B., Hrusha V.M. et al. Wireless Sensor Networks for Digital Agriculture, Environmental Protection, and Healthcare. *Cybern Syst Anal* (2023). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00638-3>.

Публікації у фахових виданнях України

7. Ковирьова О.В. Моделі фотосинтезу та комп'ютерна оцінка стану рослин. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2010. № 9. С. 72–81. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/46392>
8. Груша В.М., Ковирьова О.В. Дослідження чутливості флуориметра "Флоратест" до дії стресових факторів на стан рослин. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2012. № 11. С. 119–126. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/46495>
9. Ковирьова О.В. Огляд портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2013. № 12. С. 46–53. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/69708>
10. Антонова Г.В., Ковирьова О.В., Лаврентьев В.М. Графоаналітичний метод аналізу параметрів флуоресценції хлорофілу. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2017. № 16. С. 66–75. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/131511>
11. Антонова Г.В., Ковирьова О.В. Бездротові технології як ланка цифровізації сільського господарства. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2018. № 17. С. 53–59. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/150607>
12. Антонова Г.В., Кедич А.В., Ковирьова О.В. Інтернет речей та бездротові смарт-мережі у точному землеробстві. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2019. № 18. С. 119–127. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/168487>
13. Романов В.О., Галелюка І.Б., Груша В.М., Вороненко О.В., Ковирьова О.В., Антонова Г.В., Кедич А.В. Смарт системи для прецизійного землеробства, захисту довкілля та охорони здоров'я. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2023. 2. С. 58–73. DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.23.1.6>

Патенти та свідоцтва про авторське право

14. Федак В.С., Китаєв О.І., Антонова Г.В., Груша В.М., Ковирьова О.В. Спосіб тестування забруднення середовища. Патент 115592 Україна: МПК G01N 21/64 (2006.01), G01N 21/94 (2006.01); заявл. 26.09.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. 5 с.
15. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Програмний засіб для аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу "CFiAnalyzer"" № 85011 від 29.01.2019/ Ковирьова О.В.
16. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Мобільний додаток "QofLQ" № 100921 від 26.11.2020. / Ковирьова О.В., П'ятчаніна Т. В.

17. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма «Мобільний додаток «Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу» («Menstrual Calculator»)" № 109745 від 23.11.2021. / Ковирьова О.В., Татарчук Т.В., Косей Н.В., Тутченко Т.М., Яроцька Н.В.
Матеріали та тези конференції
18. Палагін О.В., Романов В.О., Стародуб М.Ф., Галелюка І.Б., Скрипник О.В. Портативний прилад для експрес-діагностики пташиного грипу. *Тези Міжнародної науково-технічної конференції "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології" (СЕМСТ-3)*. Одеський національний університет імені І.І. Мечникова (м. Одеса, 2–6 червня 2008 р.). С. 93.
19. Романов В.О., Стародуб М.Ф., Галелюка І.Б., Артеменко Д.М., Скрипник О.В. Інтелектуальний портативний сенсор для діагностики інфекційних захворювань. Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Інститут біохімії імені О.В. Палладіна НАН України. *Матеріали X Міжнародної конференції з біоніки та прикладної біофізики*. (м. Київ, 27–28 листопада 2008 р.). Київ 2008. С. 54.
20. Ковирьова О.В. Використання інформаційних технологій для оцінки стану рослин. *XV Ювілейний Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в XXI ст.»*. Зб. мат. форуму. Т. 1. Харків: ХНУРЭ. 2011. С. 257–258.
21. Romanov V., Hrusha V., Kovyrova O. Research of the fluorometer «Floratest» sensitivity impact of stress factors on the plants. *Матеріали XX міжнародної конференції "Knowledge-Dialogue-Solution" (KDS-2014)*. Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАНУ (м. Київ, Україна. 8–10 вересня 2014 р.). С. 126–127. URL: http://www.foibg.com/ibs_isc/ibs-31/IBS_ISC-No31-KDS2014.pdf
22. Груша В.М., Ковирьова О.В. Особливості обробки кривих індукції флуоресценції хлорофілу. *XVIII Ювілейний Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь в XXI ст.»*. Зб. мат. форуму. Т. 1. Харків: ХНУРЭ. 2014. С. 138–139.
23. Антонова Г.В., Ковирьова О.В. Розробка модуля для системи підтримки прийняття рішень в сільському господарстві та екології. *XXIII Міжнародна конференція з автоматичного управління "Автоматика 2016"*. (м. Суми, Україна. 19–21 вересня 2016 р.) Суми, 2016. С. 199–200.
24. Сарахан Є.В., Антонова Г.В., Груша В.М., Вороненко А.О., Ковирьова О.В., Лаврентьєв В.М. Розробка методичного забезпечення бездротових інтелектуальних біосенсорів для застосування на великих територіях. *VII Міжнародна науково-технічна конференція "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології" (СЕМСТ-7) (з виставкою розробок та промислових зразків сенсорів) (Україна, Одеса, 30 травня – 3 червня 2016 р.)*: Тези доповідей / ред. кол. : В.А. Сминтина (гол. ред.); члени редколегії: О.Є. Беляєв, І.В. Блонський, Я.І. Лепіх [та ін.]. Одеса: Астропринт. 2016 С. 108.
25. Foigt N., Romanov V., Kovyrova O. Smart communicator for small subpopulations health assessment using steps instrument *Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку* [Електронний ресурс]: Зб.

матеріалів VII Всеукраїнської науково-практичної конференції. К.: КНЕУ, 2022. С. 272–276.

26. Romanov V., Tulchinsky V., Galelyuka I., Voronenko O., Kovyrova O. Wearable Sensors and Devices for People under Health Risk. *12th International conference on Applied Internet and Information Technologies (AIIT2022)*. Zrenjanin, Serbia. 2022, October 14th. P. 48–53. URL: https://aiitconference.org/archive/Proceedings_AIIT2022.pdf

Публікації у міжнародних журналах

27. Palagin O., Romanov V., Starodub M., Galelyuka I., Skrypnyk O., Skyba K. Smart portable sensor for bird blue express-diagnostics: principles of design. *Intelligent Technologies and Applications: International book series "Information Science and Computing"*. Number 5: Supplement to International Journal "Information Technologies and Knowledge". Volume 2/2008. 2008. P. 80–84. URL: http://foibg.com/ibs_isc/ibs-05/IBS-05-p13.pdf
28. Palagin O., Grusha V., Antonova H., Kovyrova O., Lavrentyev V. Application of biosensors for plants monitoring. *International Journal "Information theories & applications"*. Volume 24, Number 2. Sofia. 2017. P. 115–126. URL: <http://www.foibg.com/ijita/vol24/ijita24-02-p02.pdf>
29. Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Kovyrova O., Mintser O., Pyatchanina T. Wireless sensor networks with elements of artificial intelligence for medicine. *Information theories and applications* Volume 28, Number 2. Sofia, Bulgaria. 2021. P. 139–156. DOI: <https://doi.org/10.54521/ijita28-02-p03>.

Публікації у нефахових виданнях України

30. Ковирьова О.В. Методи обробки вимірів кривих індукції флуоресценції хлорофілу. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2014. № 13. С. 117–124. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/84837>
31. Антонова Г.В., Ковирьова О.В., Лаврентьєв В.М. Дослідження залежності індукції флуоресценції хлорофілу від температури та розташування сенсора на рослині. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2015. № 14. С. 90–100. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/122848>
32. Антонова Г.В., Ковирьова О.В. Елементи методики випробувань дослідних зразків біосенсору на тестових культурах під впливом дії стресових факторів. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2016. № 15. С. 51–58. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/122863>
33. Романов В.О., П'ятчаніна Т.В., Ковирьова О.В. Медичні комунікатори для сімейної медицини. *Медична інформатика та інженерія (науково-практичний журнал)*. 2020. № 1. С. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2020.1.11132>.

АНОТАЦІЯ

Ковирьова О.В. Моделі і інструментальні засоби експресної діагностики для застосування в біології та медицині. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ, 2024.

Дисертація присвячена створенню нових моделей, нових інформаційних технологій та інструментальних засобів експресної діагностики для біологічно-медичного застосування.

Показано, що існуючі моделі фотосинтезу слабо пов'язані між собою і відображають окремі стадії цього процесу.

Вперше методом крокової регресії побудовано математичну модель індукції флуоресценції хлорофілу. Розроблено методичне забезпечення для діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу.

Розроблено інформаційну систему для попередньої діагностики на основі медичних опитувальників. Це дає можливість оцінювати стан здоров'я пацієнта у віддаленому режимі без відвідування лікаря та зменшити час на обробку даних опитування.

Ключові слова: інформаційна система, індукція флуоресценції хлорофілу, флуорометр, аналіз і обробка даних, якість життя, SF-36.

ABSTRACT

Kovyrova O.V. Models and instrumental tools of express diagnostics for using in the biology and medicine. – Manuscript.

Thesis for scientific degree of PhD of Technical Sciences on speciality 05.13.06 – Information technologies. – V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

The thesis is devoted to the creation of new models, new information technologies and tools for express diagnostics for biomedical applications.

It has been established that in existing industrial systems of precision agriculture in crop production, there are practically no means and methods for measuring dynamic changes in plant condition. The main disadvantages of the existing traditional biochemical methods and means of plant diagnostics are the time-consuming nature, high cost, the need to prepare samples of the measurement objects, and the complexity of implementation. Unlike to standard methods, the chlorophyll fluorescence induction (CFI) method is expressive and has no special requirements for sample preparation for diagnosis.

It has been proved that an alternative to standard methods of diagnosing the state of plants is the express method of chlorophyll fluorescence induction, the implementation of which allows to study the state of plants at all stages of development. The analysis has shown that this method is a powerful tool for diagnosing dynamic changes in plant condition.

It is shown that the existing models of photosynthesis are weakly interconnected and reflect separate stages of this process.

The analysis of the parameters of existing devices revealed that their main disadvantage is insufficient intelligence. Currently, the final data processing is carried out on a computer or in the cloud. Built-in artificial intelligence components will allow for the interpretation of measurement results and the translation of management recommendations into natural language directly in the device. In addition, most devices have large size and power consumption. Unlike foreign devices, developed at the Institute of Cybernetics portable devices of the Floratest family have order of

magnitude lower cost, open software, the ability to reprogramming and upgrade sensors to user tasks.

The parameters and conditions of application of industrial devices based on surface plasmon resonance (SPR) for the rapid detection of bacterial and viral infections are analyzed. It is shown that the current state of such devices still limits their use to laboratory conditions, which does not meet the conditions of screening for the detection of epidemic situations. Unlike industrial SPR devices, the research SPR-devices developed at the Institute of Cybernetics could to operate in the field conditions in remote mode in epidemic areas.

It has been proven that the main tools of mass assessment of quality of life today are questionnaires. Based on the quality of life assessment, patients can be provided with the appropriate medical services. For express assessment of quality of life, information technologies are used, which are built as open systems and are constantly being improved.

The influence of meteorological parameters on the shape of the CFI curve, namely, temperature and humidity of soil and air, solar radiation, etc. was investigated. It is proved that the connectivity of chlorophyll fluorescence parameters with meteorological parameters should be taken into account.

A software tool for analyzing chlorophyll fluorescence induction curves "CFiAnalyzer" has been developed, which allows replacing the CFI curve with an equation. The program allows you to simplify the analysis, namely to combine CFI curves, calculate the value of the average CFI curve, calculate fluorescence parameters, and build an CFI model using the stepwise regression method.

Based on the results of the analysis of CFI curves, an method for diagnostics the state of plants using this method was developed.

The information system for preliminary diagnosis based on medical questionnaires was developed. This makes it possible to assess the patient's health condition remotely without visiting a doctor and reduce the time for processing survey data.

A software tool for assessing the quality of life "QofLQ" which allows to survey patients using the MOS SF-36 questionnaire was developed. The mobile application "MenstrualCalc" designed to identify menstrual cycle abnormalities, was developed too.

The results of the work, namely the improved method for assessing the condition of plants, as well as software tools for assessing the quality of life and detecting menstrual abnormalities, have been implemented respectively in agricultural firms and medical institutions in Ukraine and abroad.

Keywords: information system, chlorophyll fluorescence induction, fluorometer, database, data analysis and processing, quality of life, SF-36.

Підп. до друку 18.03.2024 Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 1.16. Обл.-вид. арк. 1.25.
Зам. № 15. Тираж 100 пр.

Редакційно-видавничий відділ
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України
03187, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40