

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М. ГЛУШКОВА

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОВИРЬОВА ОЛЕКСАНДРА ВАЛЕРІЇВНА

УДК 004.942

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

05.13.06 – інформаційні технології

12 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Ковирьова О.В.

Науковий керівник: Романов Володимир Олександрович, д.т.н., проф.

Київ – 2023

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, 2023.

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

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 (ІФХ) є експресним і не має спеціальних вимог до підготовки зразків для діагностики.

Доведено, що альтернативним до стандартних методів діагностики стану рослин є експресний метод індукції флуоресценції хлорофілу, реалізація якого дозволяє досліджувати стан рослин на всіх етапах розвитку. Аналіз показав, що цей метод є потужним інструментом для діагностики динамічних змін стану рослин.

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

В результаті аналізу параметрів існуючих приладів встановлено, що основним їх недоліком є недостатній інтелект. Зараз кінцева обробка даних здійснюється у комп'ютері або у хмарному середовищі. Вбудовані компоненти штучного інтелекту дозволяють здійснювати інтерпретацію результатів вимірів 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, 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) для експресного визначення бактеріальних та вірусних інфекцій. Показано, що сучасний стан 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, мали можливість працювати у польових умовах у віддаленому режимі в зонах епідемій.

Доведено, що основним засобом масової оцінки якості життя на сьогодні є опитувальники. За оцінкою якості життя пацієнтам можуть бути надані необхідні медичні послуги. Для експресної оцінки якості життя використовуються інформаційні технології, які побудовані як відкриті системи і які постійно вдосконалюються.

Виконані дослідження параметрів флуоресценції хлорофілу показали, що при розробці методики оцінки стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу слід брати до уваги розташування сенсора на листку рослини.

Досліджено вплив метеопараметрів на форму кривої ІФХ, а саме: температури і вологості ґрунту і повітря, сонячної радіації тощо. Доведено, що під час моніторингу стану довкілля потрібно враховувати зв'язок параметрів флуоресценції хлорофілу з метеопараметрами.

Розроблено програмний засіб для аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу "CFiAnalyzer", який дозволяє замінити криву ІФХ на рівняння. Програма дозволяє спростити аналіз, а саме об'єднати криві ІФХ, розрахувати

значення середньої кривої ІФХ, розрахувати параметри флуоресценції та побудувати модель ІФХ методом крокової регресії.

На основі результатів аналізу кривих ІФХ розроблено методичне забезпечення для діагностики стану рослин методом ІФХ, яке включає перелік рослин індикаторів, ознаки надлишкового вмісту елементів в ґрунті, приклад схеми експерименту та шаблон журналу експерименту.

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.

Розроблено програмний засіб для оцінки якості життя "QofLQ", який дозволяє проводити опитування пацієнтів за допомогою опитувальника MOS SF-36 та мобільний додаток "Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу (MenstrualCalc)", призначений для виявлення відхилень менструального циклу від норми.

Результати роботи, а саме удосконалене методичне забезпечення для оцінки стану рослин, а також програмні засоби для оцінки якості життя та виявлення менструальних відхилень, впроваджені відповідно в установах аграрного та медичного профілю як в Україні, так і за кордоном.

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, 2023.

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 studies of chlorophyll fluorescence parameters have shown that the location of the sensor on the plant leaf should be taken into account when developing the methodology of estimation of state of plants with chlorophyll fluorescence induction method.

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.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

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 Fedak V., 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.nbuiv.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.nbuiv.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.nbuiv.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.nbuiv.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.nbuiv.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.nbuiv.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 конференцій

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 нефармових 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.nbuv.gov.ua/handle/123456789/84837>

31. Антонова Г.В., Ковирьова О.В., Лаврентьев 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.nbuv.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.nbuv.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>.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	17
Вступ.....	19
Розділ 1 Комп’ютерні прилади та засоби оцінки стану біологічних об’єктів	25
1.1 Інформаційні технології для оцінки стану рослин	26
1.1.1 Інформаційні технології в точному землеробстві	26
1.1.2 Методи діагностики стану рослин	31
1.1.3 Індукція флуоресценції хлорофілу, як перспективний метод експресної оцінки стану рослин	33
1.1.4 Математичні моделі фотосинтезу та їх аналіз	36
1.1.5 Оптичні та технічні параметри комп’ютерних портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу	41
1.2 Біосенсорні ППР-прилади	46
1.2.1 Аналіз сучасних промислових ППР-приладів для виявлення вірусних інфекцій	46
1.2.2 Портативний прилад для експрес-діагностики інфекційних захворювань (науково-дослідний проєкт ІК НАН України)	50
1.3 Медицина 4П і сучасні медичні діагностичні системи	55
1.3.1 Аналіз методів діагностики.....	55
Висновки за розділом 1	65
Розділ 2 Моделі і інструментальні засоби експресної діагностики стану рослин	68
2.1 Дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу	68
2.1.1 Опис досліджень	68
2.1.2 Попередня обробка даних вимірювань	71
2.1.3 Оцінка загального часу вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою приладів сімейства "Флоратест"	73

2.1.4 Оцінка оптимального розташування сенсора на листі рослини під час проведення експериментів	75
2.1.5 Візуальний аналіз кривих ІФХ	78
2.1.6 Аналіз результатів експериментів щодо оцінки залежності параметрів флуоресценції хлорофілу від параметрів навколишнього середовища	86
2.2 Побудова моделі індукції флуоресценції хлорофілу	90
2.2.1 Обґрунтування вибору моделі	91
2.2.2 Побудова моделі індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою методу крокової регресії	98
2.2.3 Програмний засіб для аналізу кривих ІФХ	100
2.2.3.1 Опис програмного засобу	100
2.2.3.2 Тестування роботи програмного засобу	103
2.2.4 Результати роботи програми	105
2.3 Методичне забезпечення для діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу на тестових культурах під впливом дії важких металів	110
2.4 Узагальнена структура обробки інформації для точного землеробства	118
Висновки за розділом 2	120
Розділ 3 Інструментальні засоби експресної діагностики для застосування в медицині	122
3.1 Розробка інформаційної системи для попередньої діагностики на основі медичних опитувальників	122
3.2 Опитувальники для оцінки якості життя як елемент інформаційної системи	128
3.2.1 Опис програмного засобу	133
3.2.2 Тестування роботи програмного засобу	135
3.3 Опитувальник для оцінки стану жіночого здоров'я	137
3.3.1 Опис програмного засобу	140
3.3.2 Тестування роботи програмного засобу	141
3.4 Спеціалізовані опитувальники	142

	16
3.5 Опитувальник ВОЗ STEPS	145
Висновки за розділом 3	146
Висновки	148
Перелік джерел посилання	150
Додаток А Опис процесу фотосинтезу	166
Додаток Б Опис параметрів кривої ІФХ	172
Додаток В Опис комп'ютерних портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу	175
Додаток Г Опис портативного приладу для експрес-діагностики інфекційних захворювань бази ППР-сенсору сімейства «Spreeta» (науково-дослідний проєкт ІК НАН України)	182
Додаток Д Тестова крива індукції флуоресценції хлорофілу	185
Додаток Е Результати розрахунку коефіцієнтів кореляції	186
Додаток Ж Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір	189
Додаток И Результати розрахунку параметрів моделей ІФХ	192
Додаток К Дані для тестування програмного засобу	196
Додаток Л Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	198
Додаток М Сертифікати учасника конференції	205
Додаток Н Акти впровадження результатів дослідження	208

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БСМ	бездротова сенсорна мережа
ПЗ	Програмне забезпечення
ІФХ	індукція флуоресценції хлорофілу
БД	База даних
СУБД	Система управління базою даних
РЦ	реакційний центр
ФС II	фотосистема II
НМ	нейронна мережа
ОЛР	швидка фаза кривої індукції флуоресценції хлорофілу
БПЛА	безпілотні літальні апарати
ІТ	Інформаційні технології
РАМ	(англ. Pulse Amplitude Modulation) імпульсно-амплітудна модуляція
ППР	поверхневий плазмонний резонанс
ЛППР	локалізований поверхневий плазмонний резонанс
ЯЖ	Якість життя
MOS SF-36	(англ. The Medical Outcomes Study Short Form-36)
PF	Фізична активність, Physical Functioning
RP	(англ. Role Physical Functioning) Роль фізичних проблем в обмеженні життєдіяльності
BP	(англ. Bodily Pain) Біль
VT	(англ. Vitality) Життєздатність
SF	(англ. Social Functioning) Соціальна активність
RE	(англ. Role Emotional) Роль емоційних проблем в обмеженні життєдіяльності
MH	(англ. Mental Health) Психічне здоров'я
GH	(англ. General Health) Загальне здоров'я

PCS	(англ. Physical Component Summary) Фізичний компонент здоров'я
MCS	(англ. Mental Component Summary) Психологічний компонент здоров'я
PK	(англ. Primary Key) Первинний ключ
АМК	Аномальні маткові кровотечі
HADS	(англ. The Hospital Anxiety and Depression Scale) Госпітальна шкала для виявлення тривоги та депресії
DASH	(англ. Disability of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure) Опитувальник нездатності верхніх кінцівок

ВСТУП

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 в 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 кафедрі генетики, селекції і насінництва імені проф. М.О. Зеленського Національного університету біоресурсів і природокористування України (див. Додаток Н).

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 нефархових 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.

РОЗДІЛ 1

КОМП'ЮТЕРНІ ПРИЛАДИ ТА ЗАСОБИ ОЦІНКИ СТАНУ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

В світі майже 2 мільярди людей страждають від нестачі продовольства, а ціни на нього кожні 10 років подвоюються. Це пояснюється, по-перше, постійним ростом кількості населення і, по-друге, відведенням сільськогосподарських угідь під технічні та біоенергетичні культури.

Тому виробництво продовольства стало зараз однією з найбільш прибуткових галузей, а це, в свою чергу, спонукало розвинуті країни з кінця минулого сторіччя переводити аграрну галузь на фабричні технології. За цими технологіями усі технологічні процеси у сільськогосподарському виробництві нормуються і оптимізуються так само, як при виробництві технічних засобів на заводах чи фабриках.

Однак глобальні та швидкі зміни клімату заважають впровадженню стандартних фабричних технологій у сільське господарство, тому що вони, як правило, не враховують швидких кліматичних змін і потребують додаткової корекції технологічних процесів у відповідності до цих змін.

Внаслідок швидких змін клімату статистичні методи не завжди дозволяють оптимізувати внесення добрив та пестицидів, керувати штучним поливом, прогнозувати врожаї. Статистичні методи необхідно уточнювати моделюванням процесів, які відбуваються в рослинах внаслідок дії впливових факторів.

Шляхом для розв'язання даної проблеми може стати побудова динамічних моделей. Динамічні моделі описують процес або систему залежності від часових періодів, що були або будуть. Використання динамічних моделей для прогнозування стану біологічного об'єкту дозволяє мати уявлення про стан та розвиток цього об'єкту у певний момент часу в залежності від зміни факторів, які впливають на об'єкт. На основі отриманих з моделі даних може бути розроблений план дій щодо внесення змін у ланцюг

технологічних операцій та процесів з урахуванням потреб біологічного об'єкту та його стану з метою досягнення стабільного та максимального його розвитку. Завдяки цьому може зменшитися час на дослідження стану та розвитку біологічного об'єкту, який при дослідженнях в реальних природних умовах може займати багато років.

В даному розділі розглянуто: нову 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 діагностичні системи для медицини 4П. Відмічені переваги та недоліки цих засобів та особливості їх використання.

1.1 Інформаційні технології для оцінки стану рослин

1.1.1 Інформаційні технології в точному землеробстві

Точне землеробство – це комплексна технологія, яка займається розробкою стратегії і тактики землеробства, та оперативного керування виробничим процесом вирощування сільськогосподарських рослин з урахуванням біологічних особливостей культури та сорту, локальних умов ґрунтового живлення та стану рослин, а також мікрокліматичних особливостей ґрунту [1, 2]. Принципова відмінність концепції точного землеробства полягає в тому, що вона розглядає кожне сільськогосподарське поле, як неоднорідне, а отримання інформації про агробіологічний стан рослин, ґрунтове середовище та інші складові навколишнього середовища та прийняття рішення щодо реалізації внесення технологічного матеріалу відбувається на основі спеціально розроблених інформаційних технологій

(ІТ). Тобто точне землеробство являє собою стратегію керування, яка використовує інформаційні технології для того, щоб отримати дані від багатьох джерел, а також для того щоб приймати управлінські рішення, пов'язані з рослинництвом та кінцевою метою – отримання високого врожаю. Основні підсистеми, які входять як елементи в технологію точного землеробства: навігаційна підсистема, технічні засоби для отримання та обробки інформації, технічні засоби для реалізації технології в полі. Розвитком технологій точного землеробства є технології у рослинництві.

Технологія цифрового землеробства передбачає використання сенсорів, які розміщуються стаціонарно на полі, включно на сільськогосподарських рослинах, або на рухомому сільськогосподарському механізмі, який виконує технологічну операцію. Дані від таких сенсорів з використанням ІТ застосовуються для отримання оперативної інформації, відображення даних, наприклад, у хмарному середовищі, прийняття управлінських рішень. З використанням таких даних можна створити цифрові моделі сільськогосподарських угідь з урахуванням динаміки розвитку сільськогосподарських культур.

Технологія точного землеробства передбачає використання систем оперативного контролю та прийняття управлінського рішення, які розміщуються стаціонарно на полі, включно сільськогосподарські рослини, або на рухомому сільськогосподарському агрегаті. Такі системи дозволяють в режимі реального часу забезпечити оперативне керування якістю виконання технологічних операцій. В них закладені алгоритми, за допомогою яких ці системи можуть приймати управлінські рішення в режимі реального часу на основі отриманих оперативних даних. Одним із найважливіших елементів застосування точного розумного землеробства є оперативний збір та реєстрація агробіологічної та фітосанітарної інформації про агробіологічний стан сільськогосподарських угідь.

Реалізація технології точного землеробства складається з наступних етапів [1]:

1. Визначення контурів полів для реалізації технологій точного землеробства.
2. Проведення моніторингу існуючої урожайності.
3. Визначення властивостей ґрунтового середовища на заданому полі.
4. Розробка методики відбору проб на поверхні сільськогосподарського поля.
5. Відбір зразків ґрунтових проб.
6. Проведення лабораторного аналізу та видача рекомендацій.
7. Розробка рекомендацій щодо забезпечення диференційованого внесення технологічного матеріалу (насіння, мінеральні добрива, біодобавки).
8. Диференційована сівба сільськогосподарських культур.
9. Супутниковий моніторинг агробіологічного стану сільськогосподарських угідь протягом вегетаційного періоду з наземним підтвердженням.
10. Аеромоніторинг з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та дронів з наземним підтвердженням.
11. Диференційоване внесення засобів захисту рослин.
12. Моніторинг урожайності з врахування реалізованих технологій точного землеробства.

В [3] наведено типову схему обміну даними згідно з концепцією точного землеробства в рослинництві. В даній схемі інформація передається по колу. Дані від супутникової системи навігації передаються в місце зберігання та обробки цих даних, в процесі обробки приймається рішення на основі службових даних, таких як історія поля, результати обстеження ґрунту, топографія поля, дистанційне зондування, а також на основі аналізу наявності ресурсів та даних, отриманих від постачальників, консультантів, посередників та адміністрації. На основі цього будуються карти з інструкціями, після чого виконуються аграрні технічні процедури з обробки ґрунту та посівів з урахуванням даних про ґрунт. Далі вносяться добрива, гербіциди, пестициди з урахуванням даних про стан поля, стан культур. Дані про стан ґрунту,

сільськогосподарських культур, наявність бур'янів отримуються від відповідних сенсорів.

На рис. 1.1 наведено схему обміну даними згідно з концепцією точного землеробства в рослинництві [3]. Недоліком розглянутої схеми обміну даними згідно з концепцією точного землеробства в рослинництві є те, що вона не враховує динамічні зміни стану рослин і орієнтована виключно на сільськогосподарські культури. В пункті 2.4 наведено розроблену схему догляду за рослинами, яка може адаптуватися під різні умови експлуатації, наприклад, у сільському господарстві, екологічному моніторингу, тепличних господарствах тощо.

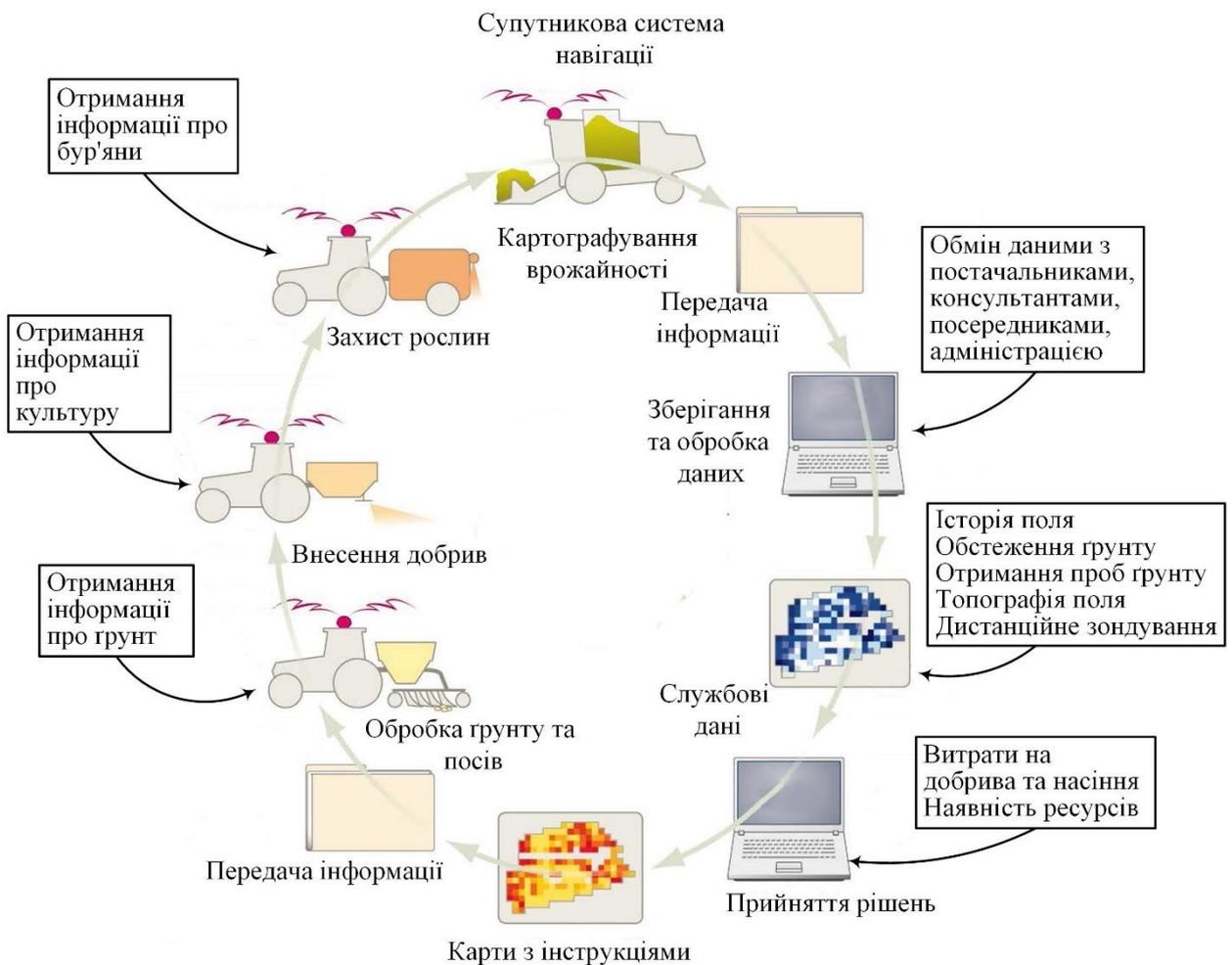


Рисунок 1.1 – Схема обміну даними згідно з концепцією точного землеробства в рослинництві

В [4] виконано огляд напрацювань українських виробників ІТ для аграрного сектору, представлених на міжнародних агропромислових ярмарках. За призначенням представлені розробки можна класифікувати наступним чином: електронні консультанти для аграріїв (економічні додатки, аграрні календарі), картографія полів (електронні паспорти полів); системи точного землеробства (системи штучного поливу та інші), системи визначення якості та оригінальності сільськогосподарської продукції, БПЛА та дрони, технології Інтернету речей (ІоТ) в сільському господарстві, системи моніторингу сільськогосподарської техніки.

Одною з перспективних розробок на сьогодні на нашу думку є бездротова сенсорна мережа (БСМ) і технології на її основі для експрес оцінки стану рослин, яка розроблена колективом авторів в Інституті кібернетики НАН України та для якої розроблено методичне забезпечення [5]. БСМ призначена для вирішення однієї з підзадач точного землеробства, а саме для визначення стану рослин в умовах дії стресових факторів різної природи в реальному часі.

Робота бездротової сенсорної мережі базується на вимірюванні «розумним» біосенсором індукції флуоресценції хлорофілу рослини (ІФХ) [6]. БСМ являє собою мережу бездротових біосенсорів, які об'єднані між собою радіоканалом [7]. БСМ призначена для використання у промисловому землеробстві та екологічному моніторингу для діагностики стану рослин [8, 9] та є розвитком розроблених в ІК НАН України сімейства приладів "Флоратест" [10, 11].

Таким чином, встановлено, що в існуючих на сьогодні технологіях точного землеробства практично відсутні засоби та методики вимірювання динамічних змін стану рослин у реальному часі.

Розглянемо більш детально існуючі методи діагностики рослин та метод індукції флуоресценції хлорофілу, як один із перспективних методів для майбутнього цифрового землеробства.

1.1.2 Методи діагностики стану рослин

Під хворобою рослини розуміють порушення нормальних фізіологічних функцій, яке виникає під впливом патогену (збудника хвороби) або несприятливих умов середовища та приводить до зниження продуктивності або повної загибелі рослини. В залежності від умов навколишнього середовища хвороба може або затухати, або розвиватися більш інтенсивно. Найбільш поширеними типами прояву хвороб рослин є: некрози, нальоти, пухлини, нарости, в'янення рослин, деформація органів, руйнування органів, хлороз тощо.

Для діагностики вірусних захворювань використовують наступні методи [12, 13]: серологічний метод, метод рослин-індикаторів, електронну мікроскопію, метод внутрішньоклітинних включень, метод люмінесцентного аналізу, анатомічний метод, хімічний метод тощо. Істотним недоліком перелічених методів діагностики є необхідність складної, тривалої попередньої підготовки рослин та спеціальних інструментів.

Крім вірусів та патогенів для нормального розвитку рослини важливу роль грає наявність в достатній кількості елементів живлення. Способами кількісної діагностики елементів живлення є наступні: візуальний, хімічний і функціональний. Візуальний базується на аналізі ознак змін в рослині, таких як забарвлення листя, відставання в рості. Хімічна діагностика мінерального живлення (тканинна або листовая), дозволяє визначити хімічний склад рослин, але не показує, скільки саме їй не вистачає того чи іншого мікроелементу або скільки зайвого. Функціональна діагностика дозволяє виявляти дефіцит елементів живлення, а саме макро- і мікроелементів (N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg тощо), тривалість діагностики 2-3 години [14].

Крім того, існує метод отримання комплексної інформації про структурно-функціональний стан рослин та плодів без пошкодження тканин за допомогою амплітудно-фазових параметрів світлорозсіяння лазерного випромінювання та динаміки їх змін в процесі вимірювання [15].

Основними оптичними методами дослідження стану клітин рослинних організмів є спектральні (фотометричні) та люмінесцентні (флюорометричні) методи. Метод визначення концентрації хлорофілу полягає в тому, що з листів рослини пустотілою трубкою стандартного діаметра роблять "висічки" фіксованої площі. З отриманого препарату після його розтирання готують спиртову витяжку хлорофілу, яку заливають у кювети. Далі спектрофотометричним методом визначається концентрація хлорофілу в розчині. Отримані значення перераховують у поверхневу щільність з урахуванням відомої площі висічки [16].

Слід підкреслити, що метод ІФХ діагностики стану рослин є неінвазивним та може бути використаний в різних сферах. Зокрема метод ІФХ використовується для аналізу стану рослин під час старіння, при наявності пошкоджень, вірусів та захворювань, при наявності дефіциту поживних речовин, наявності сольового стресу рослин, при охолодженні, при тепловому стресі, при впливі гербіцидів, наявності забруднення важкими металами [17], для визначення, який з сортів може використовуватися при зменшених умовах освітленості [18]. Метод ІФХ є ефективною мірою для визначення фізіологічного статусу рослин, забруднених азотом, фосфором і калієм [19].

Таким чином, головними недоліками традиційних промислових методів та засобів діагностики є тривалість часу, велика вартість, тривалість підготовки зразків об'єктів вимірювання, складність реалізації та необхідність кваліфікованого персоналу. На відміну від розглянутих, метод індукції флуоресценції хлорофілу є експресним і не має спеціальних вимог до підготовки зразків, необхідних для діагностики, крім виконання попередньої темної адаптації листка рослини.

1.1.3 Індукція флуоресценції хлорофілу, як перспективний метод експресної оцінки стану рослин

Фотосинтез – це процес утворення зеленими рослинами органічних сполук із диоксиду вуглецю CO_2 і води H_2O за допомогою квантів світла [20]. Фотосинтез складається з двох фаз – темної і світлової. Під час першої (світлової) фази відбувається накопичення енергії для утворення нуклеотид АДФ (аденозинтрифосфат) і високоенергетичних переносників електронів, в другій (темній) – енергетичні продукти першої фази використовуються для відновлення диоксиду вуглецю CO_2 до вуглеводів. Органами фотосинтезу, анатомічно пристосованими до його ведення, є листя вищих рослин. Ланцюг фотосинтетичних ферментативних реакцій, що проходять у хлоропластах і в результаті яких відбувається фіксація та відновлення CO_2 в темній фазі фотосинтезу, називається циклом Кальвіна (відновлючий пентозофосфатний цикл) [20, 21] (див. Додаток А).

В роботі [22] виконано огляд зв'язку кінетики флуоресценції хлорофілу *a* (Хл *a*) з різноманітними процесами фотосинтезу. Фотохімічні реакції, дисипація в тепло і флуоресценція не є незалежними і конкурують один з одним. Вихід флуоресценції містить інформацію про ефективність двох інших процесів. У вищих рослинах та зелених водоростях при кімнатній температурі спектр флуоресценції хлорофілу має пік при 685 нм (відноситься до світозбираючої антени фотосистеми P^1 (ФСII)) та широке "плече" між 700 і 750 нм (яке включає вклад коливальних підрівнів випускання Хл *a* ФСII та випускання Хл ФСI). Каутський та Хірш [23] показали, що на відміну від флуоресценції Хл *a* в розчині, інтенсивність флуоресценції Хл *a* *in vivo* при рівномірному збудженні світлом непостійна і змінюється в часі характерним чином. Процес зміни називається індукцією або кінетикою флуоресценції. Це

¹ФотосистемаII– це дискретна одиниця організації пігментів, у складі якої хлорофіл бере участь у реакціях світлової стадії фотосинтезу

явище стало відомим як ефект Каутського. Залежність інтенсивності флуоресценції хлорофілу від часу після початку освітлення відома як крива індукції флуоресценції хлорофілу [24].

Аналіз інформативних параметрів індукції флуоресценції хлорофілу є потужним інструментом вивчення дії різноманітних стресових чинників на рослини при екологічному моніторингу та захисті довкілля.

В основу методу покладено реєстрацію зміни інтенсивності флуоресценції хлорофілу адаптованих до темноти зразків після включення постійного збуджуючого світла [24]. Інтенсивність вимірюється від деякого початкового рівня F_0 (після темної адаптації рослини) до максимального рівня F_M (так зване швидке наростання кінетики флуоресценції в інтервалі 200-400 мс), а далі повільно (на протязі 1-10 хв) зменшується до стаціонарного рівня. Графік швидкого зростання флуоресценції побудований в логарифмічному масштабі і являє собою трифазну криву, яка має назву ОІР (рис. 1.2) [25-27] (див. Додаток Б).

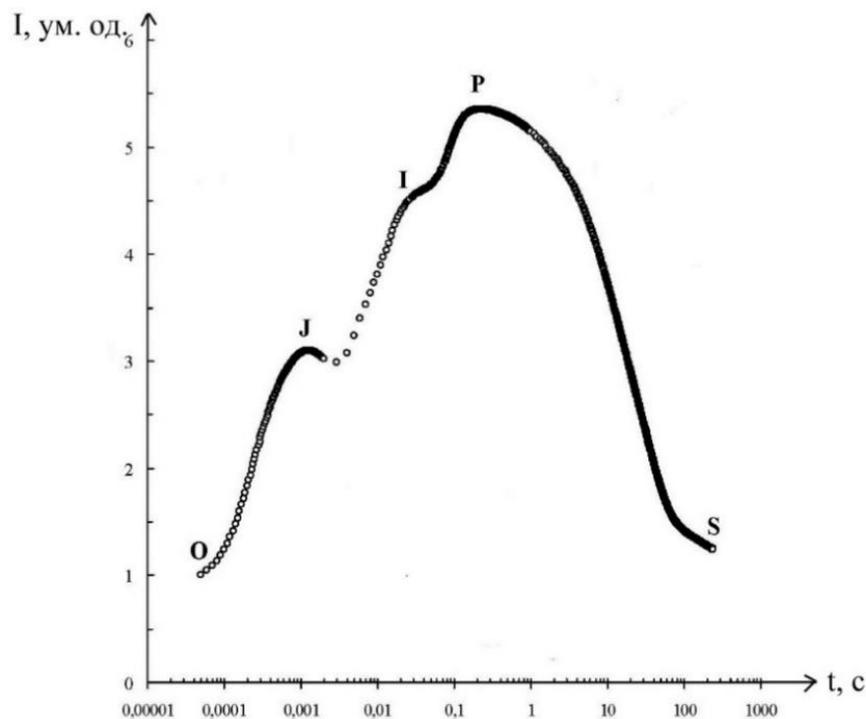


Рисунок 1.2 – Крива індукції флуоресценції хлорофілу

На рисунку 1.2 введено наступні позначення:

O – флуоресценція в точці O (приблизний час 20 мкс);

J – флуоресценція в точці J (приблизний час 2-3 мс);

I – флуоресценція в точці I (приблизний час 30 мс);

P – флуоресценція в точці P (приблизний час 200 мс).

За допомогою портативних приладів сімейства "Флоратест" для вимірювання ІФХ можна отримати криву наступного вигляду (рис. 1.3), час вимірювання 5 хв [28].

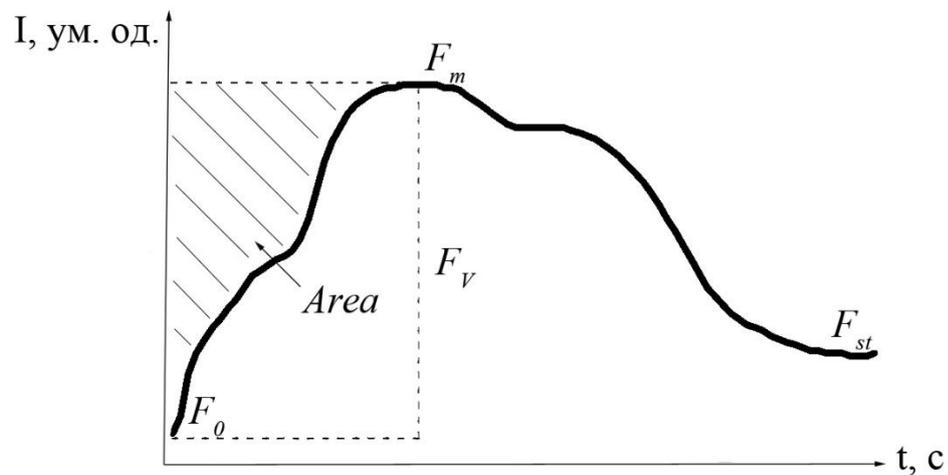


Рисунок 1.3 – Типова крива індукції флуоресценції хлорофілу

На рисунку 1.3 введено наступні позначення:

F_0 – мінімум виходу флуоресценції хлорофілу в темно-адаптованому стані, "фоновий" (початковий) рівень флуоресценції

F_t – інтенсивність флуоресценції в час t

F_m – максимальний рівень флуоресценції хлорофілу;

F_{st} – стаціонарний рівень флуоресценції;

$F_v = F_m - F_0$ – активність, що характеризує світлову стадію фотосинтезу, максимум варіабельної флуоресценції;

F_v/F_m – розрахунковий параметр, який характеризує ефективність фотохімічних реакцій;

$R_{fd} = (F_m - F_{st})/F_{st}$ – індекс життєдіяльності рослини;

$Area = \int_{t_{F_0}}^{t_{F_m}} (F_m - F_t) dt$, де t_{F_0} , t_{F_m} – час вимірювання параметрів F_0 та F_m відповідно. Area, площа над кривою ІФХ між F_0 та F_m . Даний параметр може бути використаний в якості індикатору змін у формі кривої ІФХ між F_0 і F_m , які можуть бути не очевидні з інших параметрів.

Таким чином, встановлено, що альтернативним до відомих методів діагностики стану рослин є метод індукції флуоресценції хлорофілу, використання якого дозволяє вивчати проблеми у рослин на ранніх етапах розвитку, включно латентний період, в експресному режимі. Аналіз показав, що метод індукції флуоресценції хлорофілу є потужним інструментом для діагностики стану рослин зокрема для визначення стресу від посухи, метод дозволяє швидко ідентифікувати стійкі або чутливі до високих температур зразки, за допомогою методу ІФХ можна виявити вплив факторів навколишнього середовища (наприклад, внесення гербіцидів, наявності озону та важких металів) [29].

1.1.4 Математичні моделі фотосинтезу та їх аналіз

Одним із варіантів для вивчення процесу фотосинтезу є динамічні моделі. Розглянемо моделі фотосинтезу і їх зв'язок з індукцією флуоресценції хлорофілу.

Проста модель динаміки фотосинтезу (автори: Marcelo Shoeyde Oliveira Massunaga, Carlos Eduardo Novo Gatts, Affonso Guida Gomes, and Helion Vargas, 2001 р.). У роботі [30] розглянута проста модель динаміки фотосинтезу, проаналізовано комплекс процедур, які описують хімічні реакції циклу Кальвіна та оцінюють швидкості цих реакцій. Моделювання включає два кроки: крок збудження світла і модель для ефективних хімічних процесів у темнових реакціях. При побудові моделі використано апарат диференціальних рівнянь. Результати моделювання перевірялись за допомогою фотоакустичної техніки, однак слабо корелюються з методом ІФХ.

Математична модель циклу фотосинтезу Кальвіна (автори: Gösta Pettersson, Ulf Ryde-Pettersson, 1988 р.). Модель циклу Кальвіна [31] розглядає регулювання системи за допомогою внутрішніх змінних регуляції, і включає в себе виробництво крохмалю в якості додаткового вихідного процесу. У цьому дослідженні аналізується залежність активності стаціонарного циклу від концентрації зовнішнього неорганічного фосфату при освітленні і насиченні двоокисом вуглецю.

При побудові моделі використані звичайні диференціальні рівняння. Дана модель може бути використана для отримання даних про динамічну поведінку та регулюючі властивості системи, яка розглядається, однак валідність цієї моделі залежить від похибок експериментів.

Моделювання і керування процесом фотосинтезу (Марк Г. Пулман, Девід. А. Фелл і Саймон Томас , 2000 р.). В роботі [32] побудована інша модель циклу Кальвіна на основі моделі Г. Петтерссона та У. Райд-Петтерссона [31]. Основна відмінність між структурами у моделей полягає у відсутності припущення, що будь-які оборотні реакції досягають рівноваги, передбачається кожна оборотна реакція має просту оборотну динаміку дії мас. Другою відмінністю у структурі даної моделі є те, що додатково включено крок розщеплення крохмалю, який каталізується фосфолиразою крохмалю. Наслідком включення цього кроку є стабілізація моделі при високій потребі вуглецю. В роботі розглянуто динамічну і стаціонарну поведінку комп'ютерної моделі реакцій циклу Кальвіна. Всі результати отримані з використанням розробленого інтерфейсного пакету Scampі для пакету моделювання SCAMP [33].

Комп'ютерне моделювання фотосинтезу з використанням системи E-CELL (автори: Emily Wang, Yoichi Nakayama, Masaru Tomita). В Лабораторії біоінформатики в університеті Кейо (Токіо, Японія) розроблений пакет програмного забезпечення E-CELL [34] для імітаційного клітинного моделювання. Даний пакет розповсюджується з ліцензією GPL і призначений для операційних систем сімейства Linux.

За допомогою даного пакету створено модель циклу Кальвіна (темної фази фотосинтезу) для рослин типів C_3 та C_4 , а також розширену модель для моделювання метаболічного потоку клітини для світлових реакцій. Ферментні реакції і параметри в цій моделі отримані з математичних моделей Петерсона (G. Pettersson) і Райд-Петерсона (U. Ryde-Pettersson) [31], а також Лаїска (A. Laisk) [35]. Отримані моделі [36] дозволяють аналізувати відмінності в регуляції обміну різноманітних фотосинтетичних систем та їх реакцію на зміни навколишнього середовища.

Кінетична модель фотосистеми II вищих рослин (Г.В. Лебедева, Н.Є. Беляєва, Г.Ю. Різніченко, А.Б. Рубін та інші). У роботі [37] запропонована детальна кінетична модель каталітичного циклу ФС II вищих рослин, у рамках якої виконаний теоретичний розрахунок і синтез кривих індукції флуоресценції хлорофілу при різних значеннях параметрів моделі. Для розрахунку інтенсивності флуоресценції хлорофілу запропоновано співвідношення, яке містить концентрації флуоресцюючих станів ФС II та їх залежність від компонентів електрохімічного потенціалу. В рамках даної моделі можуть бути синтезовані окремі фрагменти кривої ІФХ, відтворити в повному обсязі реальну криву ІФХ за допомогою цієї моделі поки що неможливо.

В роботі [38] запропоновано підхід, який дозволяє за допомогою спектральної мультиекспоненціальної апроксимації знайти та охарактеризувати додаткові фази кривої ІФХ. Запропонований метод аналізу реалізовано в вигляді програмного комплексу ruPhotoSyn, який призначений для визначення стану фотосинтетичного апарату на основі кінетики індукції флуоресценції хлорофілу, однак може працювати лише в операційних системах сімейства Linux. Для ілюстрації обраного методу використано два типи кривих: 1) модельні, які згенеровані на базі визначених функцій; 2) криві, отримані для водоростей, вирощених в нормальних умовах та в умовах мінерального голодування. Метод дозволяє виділяти фази з характерними

часовими інтервалами, які відрізняються у декілька разів, тоді як візуально відокремлюються фази, які відрізняються на порядок.

В [39] запропоновано модель процесів в фотосинтетичному електрон-транспортному ланцюгу. Вихід флуоресценції співставлено з експериментальними кривими ІФХ. В рамках моделі досліджувався вплив різної інтенсивності світла, підвищеної температури, а також різноманітних інгібіторів (речовина, що сповільнює чи зупиняє перебіг хімічних реакцій (окиснення, полімеризації, корозії металів), біохімічних і фізіологічних процесів на криві ІФХ. Модельні криві демонструють гарну відповідність експериментальній кривій на всіх стадіях збільшення виходу флуоресценції хлорофілу.

Теоретичне дослідження моделі фотосинтезу вищих рослин в широкому діапазоні часів (Кукушкін О.К. та інші). Дана модель [40] розроблена на основі теоретичної моделі світлових і темнових процесів фотосинтезу. Модель враховує існування двох фотосистем. Відновлюючий пентозофосфатний цикл описаний за допомогою п'яти реакцій, рівняння взаємних перетворень компонентів циклу записані на основі закону діючих мас. В розробленій моделі автори дослідили режими, які відповідають флуоресценції зеленого листа після темної адаптації. Знайдена відповідність між отриманими режимами і деякими експериментальними даними.

В роботі [41] детально розглядаються питання моделювання фотосинтезу, як для рослин типу C_3 та типу C_4 (більшість рослин належить до типу C_3 – це рослини, в яких третій етап фотосинтезу проходить за участю циклу Кальвіна). Зокрема розглядається зв'язок флуоресценції хлорофілу та обміну кисню під час фотосинтезу в рослинах типу C_3 та наводиться відношення, за допомогою якого електронно-транспортний ланцюг може бути апроксимований на основі даних, отриманих від імпульсно-модульованих флуорометрів.

Розглянуто моделі фотосинтезу та можливість їх використання сумісно з методом ІФХ для експресної оцінки стану рослин [42]. Моделі для аналізу вибрані з наступних міркувань:

- вони повинні відображати процес фотосинтезу у часі;
- вони повинні бути формалізовані у вигляді математичних рівнянь;
- вони повинні розповсюджуватися на вищі рослини, у тому числі сільськогосподарського призначення;
- вони повинні враховувати процес ІФХ, як конкурентний фотосинтезу процес;
- є динамічними;
- побудовані на базі диференціальних рівнянь.

Порівняння розглянутих моделей наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння моделей фотосинтезу

Назва/ Характеристика	Предмет моделювання	Тип рослин (C3 або C4)	Результат моделювання
Проста модель динаміки фотосинтезу.	Цикл Кальвіна	C3	Кількість одержуваного збудженого світла та кількість диоксиду вуглецю, як функції часу.
Математична модель циклу фотосинтезу Кальвіна.	Цикл Кальвіна	C3	Значення потоків реакції і концентрацій 13 проміжних продуктів циклу Кальвіна, вуглеводів, Г-6-Ф, Г-1-Ф, АТП, АДФ, і ортофосфату.
Комп'ютерне моделювання фотосинтезу з використанням системи E-CELL.	Цикл Кальвіна	C3/C4	Оцінка параметрів циклу Кальвіна
Моделювання і керування процесом фотосинтезу.	Цикл Кальвіна	C3	Коефіцієнти регуляції.
Кінетична модель фотосистеми II вищих рослин.	Каталітичний цикл ФС II вищих рослин	C3	Крива ІФХ при різних значеннях параметрів моделі
Теоретичне дослідження моделі фотосинтезу вищих рослин в широкому діапазоні часів	Процес фотосинтезу	C3	Кількість збуджених електронів антенного комплексу, кількість збуджених реакційних центрів ФС II і ФС I, число окислених переносників

Можна зробити висновок, що результати моделювання за різними моделями не завжди збігаються. Слід зазначити як недолік, що більшість дослідників при моделюванні зосереджуються на окремих ланках процесу фотосинтезу, в основному на циклі Кальвіна. Це можна пояснити тим, що повністю процес фотосинтезу є ще недостатньо вивченим, на сьогодні проаналізовані та промодельовані окремі стадії процесу фотосинтезу.

Таким чином, встановлено, що існуючі моделі фотосинтезу слабо пов'язані між собою і відображають окремі стадії цього процесу. Деякі з них, наприклад, моделі [38] не можуть бути використані на практиці широким колом користувачів, оскільки вимагають складних обчислень та додаткових витрат для їх здійснення. Крім того, для їх перевірки потрібні тривалі експериментальні дослідження.

1.1.5 Оптичні та технічні параметри комп'ютерних портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу

Існує два основних типи флуорометрів, які розрізняють в залежності від технології вимірювання флуоресценції [43, 44]:

- **Імпульсно-модульовані флуорометри** (робота базується імпульсно-амплітудній модуляції (Pulse Amplitude Modulation, PAM)). Модульований флуорометр використовує електронну схему для відокремлення флуоресценції хлорофілу від оточуючого світла за допомогою швидкого пульсуючого світла збудження, для того, щоб викликати відповідне імпульсне випромінювання флуоресценції. Флуорометр використовує високочутливий фотоелемент (фотодіод, фоторезистор, фоторанзистор) для виявлення та реєстрації тільки імпульсного сигналу флуоресценції.
- **Флуорометр постійного (неперервного) збудження**. Такі флуорометри призначені для вимірювання кривих індукції флуоресценції хлорофілу або швидкої фази флуоресценції хлорофілу.

В Інституті кібернетики розроблено та доведено до серійного виробництва сімейство портативних приладів "Флоратест". Прилади сімейства "Флоратест" складаються з наступних елементів: блок управління, виносний сенсор, джерело живлення, рідкокристалічний дисплей, клавіатура. В роботі [45] виконано аналіз сенсорів для польових приладів вимірювання показників ІФХ, в даному пункті аналізуються прилади в цілому для оцінки конкурентоспроможності приладів сімейства "Флоратест" на світовому ринку.

Більшість комерційних інструментів вимірюють флуоресценцію хлорофілу на довжині хвилі більшій ніж 700 нм. Використовуючи сині світлодіоди, можна уникнути проблему перекриття і вимірювати випромінювання флуоресценції на довжині хвилі приблизно 680 нм, де внесок флуоресценції фотосистеми ФСІ малий. Однак деякі вчені зазначають, що флуоресценція, яка визначена на довжині хвилі більше 700 нм, дає кращий результат. Різниця в значеннях F_v/F_m пояснюється саме відмінностями параметрів фільтрів.

Нажаль, досі не має нормативно визначених одиниць для вимірювання ІФХ. ІФХ вимірюють в умовних відносних одиницях, що не дає змоги однозначно порівнювати результати вимірів ІФХ, які отримані за допомогою приладів від різних виробників. У випадках експериментів з невеликою вибіркою необхідно віддавати перевагу одному і тому же інструменту для всіх вимірювань в експерименті.

В табл. 1.2 [46] наведено порівняльні характеристики розглянутих приладів. У Додатку В наведено більш детальний опис комп'ютерних портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу.

Таблиця 1.2 – Порівняння характеристик портативних приладів основних виробників для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу

№	Параметр/ Назва приладу	Pocket PEA	FluorPen FP 110	OS-30p+	MINI-PAM-II	Флоратест	Бездротова сенсорна мережа для експрес- діагностики стану рослин
1	Виробник	Великобританія	Чехія	США	Німеччина	Україна	Україна
2	Тип приладу	імпульсно- модуляційний	імпульсно- модуляційний	імпульсно- модуляційний	імпульсно- модуляційний	постійного збудження	постійного збудження
3	Датчик	Фотодіод, 627 нм	PIN фотодіод, 667-750 нм	PIN фотодіод з 700-750 нм	630 нм	Фотодіод 670-770 нм	Фотодіод 600-1000 нм
4	Час тестування	1, 3 чи 10 с		3-300 с		10с, 160 с	10 с, 2 хв. 40 с., 3 хв. 41 с.
5	Об'єм пам'яті	512 Кб	16 МБ	512 кб	Flash 8 МБ	ADUC848	64 кб на сенсорі
6	Кількість даних	200 10-ти секундних вимірів	До 149 000 точок даних	160 тис наборів даних	1000	40	32 наборів даних на сенсорі, 64 тис. вузлів в мережі
7	Зв'язок з комп'ютер ом	Bluetooth	Bluetooth, USB	RS232	USB	USB, Bluetooth	USB, Bluetooth ZigBee
8	Екран	графічний LCD дисплей (8 лінійх20 знаків)	графічний дисплей	графічний LCD дисплей (128х64)	графічний LCD дисплей (160х104)	графічний LCD дисплей	графічний LCD дисплей

Програмне забезпечення всіх приладів працює в операційній системі Windows, тому даний параметр також не включено в таблицю. В усіх приладах присутній LCD екран для показу отриманих даних. Прилади OS1p [47], PAM-2500 та MONITORING-PAM [48] мають сенсорний екран.

При аналізі даних табл. 1.2 видно, що більшість приладів використовують імпульсну модуляцію. Фотодетекторами у приладах є фотодіоди або фототразистори з різними довжинами хвиль. Час вимірювання також відрізняється: від 0,1 с (Handy PEA) [44] до 16 год (OS1p). Тривалість вимірювання можна вибрати довільно (Handy PEA, OS-30p+ [47], OS1p, PAM-2500, MONITORING-PAM) або обирати з наданих варіантів (Pocket PEA [44], Флоратест). Обсяг фізичної пам'яті приладу є важливим параметром, оскільки від цього залежить зручність його використання у польових умовах. Як видно із табл. 1.2, в деяких приладах надається можливість користуватися

з'ємними флеш-картами. Водночас кількість вимірювань, які можна зберегти в приладі, не залежить від обсягу фізичної пам'яті. Наприклад, при наявності пам'яті в 512 кб в приладі OS-30r+ може бути збережено 160 тис наборів даних, Rocket PEA – 200.

Для передачі даних комп'ютеру в прилади вбудовані провідні та безпроводні інтерфейси типу USB та Bluetooth. В якості елементів живлення використовуються акумуляторні батареї різного типу з можливістю перезарядки. Час роботи варіюється від 8 до 80 год безперервної роботи, а в деяких випадках розробник вказує кількість вимірювань, яку можна отримати без перезарядки батареї (MINI-PAM [48]).

Для використання в польових умовах важливим параметром приладу є вага. Вона варіюється від 188 г (FluorPen FP 100 [49]) до 5400 г (MONITORING-PAM). Прилад MONITORING-PAM має більшу вагу із-за наявності базового блоку та семи окремих головок. В середньому вага портативних приладів дорівнює 500 гр.

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України розроблено нову інформаційну технологію для оцінки стану рослин на великих територіях сільськогосподарських угідь [50], яка включає: бездротові сенсори, бездротові сенсорні мережі на основі сенсорів з радіоканалом для одночасного збору даних про стан рослин на великих територіях та математичний апарат нейронних мереж для обробки цих даних, придатний для використання у хмарному середовищі або мобільних обчислювальних платформах. 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 [50-52].

В ІК НАНУ розроблено та виготовлено взірець бездротової сенсорної мережі [53-55]. Мережа працює на базі стеку протоколу ZigBee. Мережа містить бездротові вузли, які виготовлено на базі бездротового мікроконтролера JN5168 компанії NXP. Бездротові сенсори за допомогою

координатора мережі об'єднуються у бездротову сенсорну мережу для покриття великих територій, є можливість підтримки одноразово до 100 сенсорів у мережі. До складу мережі входить координатор та сенсори. Сенсорні вузли виконують вимірювання ІФХ, з'єднуються з координатором, передають виміряні дані по радіоканалу до координатора. Передача даних у мережі здійснюється з використанням технології ССА (clear channel assessment – оцінка доступності каналу), що дозволяє уникати конфлікту каналів при передачі даних. Результат вимірювання, крім кривої ІФХ, включає ідентифікатор сенсора та час вимірювання [53-55]. Як було відзначено в п. 1.1.1 дисертантом для БСМ розроблено методичне забезпечення.

Таким чином, встановлено наявність на світовому ринку великої кількості портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу, що свідчить про актуальність даної проблематики та інтерес до даного питання іноземних науковців та виробників обладнання.

В результаті аналізу технічних характеристик існуючих приладів встановлено, що основним їх недоліком є недостатній інтелект. В даний час кінцева обробка даних здійснюється у комп'ютері або у хмарному середовищі. Вбудовані компоненти штучного інтелекту дозволяють здійснювати інтерпретацію результатів вимірів та доведення управлінських рекомендацій до природної мови безпосередньо в приладі. Крім того, більшість приладів мають великі масогабаріти, високе енергоспоживання та значну вартість. Констатується, що серед великої кількості відомих приладів розроблений в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова портативний прилад "Флоратест" є конкурентоспроможним завдяки наступним перевагам: порівняно низька вартість, сучасний інтерфейс передачі даних на комп'ютер, невелика вага, зручність у користуванні, прийнятна точність вимірювання. Крім того, прилад побудований як відкрита система, що передбачає можливість перепрограмування та модифікації приладу користувачем.

1.2 Біосенсорні ППР-прилади

1.2.1 Аналіз сучасних промислових ППР-приладів для виявлення вірусних інфекцій

Зважаючи на нагальну потребу медицини в експресній діагностиці інфекційних захворювань серед людей та тварин, таких як пташиний грип, сибірська язва, туляремія, хвороба Нью-Кастла та інших, а також враховуючи нещодавні події, пов'язані із загрозою глобальної пандемії COVID-19, визначили необхідність у розробці ефективних методах скринінгу для стримування поширення мікробних та вірусних патогенів. На жаль сучасна медична практика діагностики ознак інфекційних захворювань не може у реальному часі виявити передсимпомні або безсимтомні інфекції, а також не завжди може відрізнити смертельний коронавірус від менш небезпечних для життя респіраторних захворювань.

Розглянуті нами засоби базуються на ППР-сенсорах, у яких використовується явище поверхневого плазмонного резонансу (ППР). Поверхневі плаزمони – це хвилі змінної густини електричного заряду, які можуть виникати та розповсюджуватися в електронній плазмі металу вздовж його поверхні або вздовж тонкої металевої плівки. Світло проходить крізь оптично прозоре середовище з відносно великим показником заломлення і падає під певним кутом на тонку металеву плівку, нанесену на поверхню призми. Кут падіння повинен бути більшим за кут повного внутрішнього відбивання. Частина світла проникає у метал і розповсюджується в ньому у вигляді електромагнітної хвилі, яка швидко згасає. Остання збуджує вільні електрони металу ("електронну плазму"). І в цій плазмі можуть виникати колективні коливальні рухи електронів, які прийнято описувати як квазічастинки ("поверхневі плаزمони"). Це явище називають "поверхневим плазмонним резонансом" [56].

Кривою ППР називається залежність інтенсивності відбитого металевою плівкою світла від проекції хвильового вектору на площину плівки. На

зовнішній поверхні тонкої золотої плівки біохімічними методами висаджують ("імобілізують") мономолекулярний шар "ліганду" ("рецептора"). Це шар органічних молекул, які можуть вибірково з'єднуватися з "аналітом" – тими молекулами, концентрацію яких у розчині необхідно виміряти. Коли молекули аналіту приєднуються до молекул ліганду (рецептора), створюване останніми електричне поле на поверхні металу дещо змінюється, внаслідок чого резонансний мінімум кривої ППР зміщується. Зміщення тим більше, чим більше молекул аналіту приєдналося до біочутливого шару ліганду. А це залежить від концентрації аналіту в досліджуваному розчині та від кінетики процесів біохімічної взаємодії аналіту з лігандом [56].

Таким чином, вимірюючи величину зсуву мінімуму кривої ППР, стало можливим виявляти присутність та вимірювати концентрацію у розчинах багатьох важливих біохімічних речовин та мікрочастинок, включно наявність патогенів. А фіксуючи залежність величини зсуву від часу, можна вивчати кінетику їх біохімічних взаємодій та її залежність від різних факторів [56].

Виробники серійного наукового обладнання пропонують на ринку більше десятка ППР-біосенсорів. Розглянемо деякі із них.

Серійні прилади Viacore [57] найбільш поширені серед користувачів. В даний момент на ринку представлені такі прилади Viacore 8K +, Viacore 8K, Viacore S200, Viacore T200, Viacore X100 та Viacore C, які відрізняються між собою технічними параметрами та призначенням для використання. Прилади Viacore є засобом вивчення функцій протеїну і використовується у терапевтичних дослідженнях раку, у нейробіології, імунології, а також застосовуються у лабораторіях, які займаються вивченням інфекційних захворювань та розробкою фармацевтичних й імунологічних засобів.

Це високопродуктивні дослідницькі прилади для опису і аналізу малих та великих молекул. Прилади забезпечують високу чутливість, дають можливість швидко розробити методики для розв'язання складних спеціалізованих задач, здійснювати кінетичний аналіз та оцінку результатів

вимірів, визначати концентрації досліджуваних речовин, виконувати багатокомпонентний аналіз речовин, які досліджуються.

Важливою перевагою приладів є те, що сукупність сумішей, таких як клінічні зразки, може бути проаналізована без попереднього очищення чи підготовки.

На базі ППР-сенсорів сімейства «Spreeta» фірма NomadicsInc. (США) створені багатоканальні лабораторні прилади: *SensiQ Discovery*, *Sensiq Pioneer i SensiQ*, які широко використовувалися для експресного визначення мікотоксинів – збудників хвороб людей і тварин. Основне призначення цих приладів – вимірювання наступних типів взаємодій: протеїн-протеїн, протеїн-ДНК, антитіло-антиген. На сьогодні зазначені і на ринку представлені нові прилади Pioneer і Pioneer FE systems (Німеччина) [58]. Чутливість систем дозволяє проводити кінетичні вимірювання на молекулах розміром до 70 а.о.м. з базовим шумом при $<0,035 \text{ RU}^2$ та мінімальним дрейфом. Це дозволяє розрахувати надійні кінетичні значення для речовин з високою спорідненістю.

Компанія PlasmatrixInc. (Монреаль, Канада) [60] спеціалізується на компактних та портативних плазмонних пристроях. Система *CORGI IIF SPR* розроблена для лабораторного та академічного використання. Роздільна здатність до 10^{-6} RIU .

Серія приладів *MP-SPR Navi*™ (Фінляндія) [61] містить шість приладів на базі ППР. Прилад *MP-SPR Navi*™ 220A NAALI дозволяє проводити вимірювання як традиційний ППР-прилад, а також дозволяє вимірювати зміни конформації (зміни форми молекул). Кутовий діапазон $40^\circ - 78^\circ$ дозволяє вимірювати малі органічні молекули та великі білки, а також металеві наночастинки та клітини.

²1 RU (Resonance Unit – резонансна одиниця), спеціально введена одиниця, яка відповідає зміні вимірюваного фізичного параметра, що викликається зв'язуванням 1 пікограма протеїну на 1 мм^2 чутливої поверхні [59].

Компактний двохканальний ППР біосенсор *IMStart-Mini* [62] – це навчальний пристрій для використання в галузі біотехнологій. Додаткові зображення смуги ППР та відповідні криві ППР допомагають безпосередньо інтерпретувати графік сенсограми на основі біомолекулярної взаємодії.

Фірма Photonicsys Ltd [63] пропонує мініатюрні системи, зокрема двохканальний пристрій *SPR00* з можливістю збільшення кількості каналів висотою менше 5 см та вагою менше 1 кг, який може бути інтегрований в інші інструменти.

Трьохканальний портативний прилад *P4SPR* компанії Affinité Instruments [64] (Монреаль, Канада) побудований на базі технології ППР із використанням тонких металевих плівкових датчиків і призначений лише для дослідницького використання.

Чотирьохканальний прилад *BiOptix 404pi* компанії BiOptix Analytical (США) [65] має режим високої роздільної здатності, який дозволяє виконувати детальний аналіз молекулярних взаємодій. Автори приладу наводять порівняння вимірів, отриманих за допомогою приладу BiOptix 404pi і Viacore T200, і зазначають, що короткочасний шум на даних отриманих за допомогою Viacore T200 нижче, однак кінетичні та споріднені результати практично однакові, тобто BiOptix 404pi дає такі ж результати, що і з Viacore T200, однак при цьому вартість BiOptix 404pi на 40 % нижча, ніж вартість приладу T200.

Компанія Reichert Technologies Life Sciences [66] (США) представляє два прилади на базі ППР: чотирьохканальний Reichert4SPR та двоканальний Reichert2SPR в напівавтоматичній, так і в автоматичній конфігурації. Відкрита система Reichert4SPR розроблена максимально гнучкою. На сайті компанії наводиться порівняння приладів: Reichert2SPR з Viacore X100 та Reichert4SPR з Viacore T200. Відзначаються наступні переваги приладів: може бути протестована більша кількість зразків в автономному режимі, майже в два рази нижча вартість сенсорного чіпу, нижча вартість технічного обслуговування.

Компанія Biosensing Instrument [67] пропонує два прилади трьохканальний прилад *BI-2500* та п'ятиканальний *BI-4500*. Модуль виявлення ППР з контролем температури охоплює широкий діапазон кутів для вимірювання зсуву ППР.

Серійний прилад *Плазмон-77* [68, 69], розроблений в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, має два оптичних канали. Спектрометр, модифікований для електрохімічних вимірювань, має додатковий вхідний канал для реєстрації зовнішнього електричного сигналу одночасно з оптичними. Прилад може комплектуватися термостабілізованого кюветой і насосом для прокачування аналіту через кювету.

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України розроблений сенсорний пристрій «*Плазмонтест*» [70-72]. Виділяють три види приладів. "Плазмонтест-Лабораторія" – це комп'ютеризований пристрій для лабораторних досліджень на основі стаціонарної напівциліндричної призми та напівпровідникового лазера з довжиною хвилі 635 нм з колінеарним пучком. Одноканальний апертурно-оптичний ППР-пристрій «Плазмонтест», розроблений для польових досліджень у ветеринарних скринінгових дослідженнях у віддалених районах. Конструкція двоканального ППР-пристрою «Плазмонтест-2Л» передбачає розщеплення світлового променя на 2 частини, кожна з яких проходить через свій сегмент вимірювальної комірки та окремо визначається за допомогою двох ліній фотодіодів.

1.2.2 Портативний прилад для експрес-діагностики інфекційних захворювань (науково-дослідний проєкт ІК НАН України)

Прилад належить до області дослідження біологічних речовин шляхом аналізу зсуву кривої поверхневого плазмонного резонансу, величина якого пропорційна масі чи концентрації біологічної речовини, що міститься у досліджуваній рідині. Пристрій орієнтовано на експрес-діагностику у польових умовах гострих інфекційних захворювань, включно пташиний грип,

і передачі даних радіоканалом з місць епідемій у віддалені медичні центри. Чутлива поверхня пристрою покрита шаром аналіту, в якому містяться спеціальні білки пташиного грипу (антигени). Антитіла хворих птахів взаємодіють з цими білками. Завдяки реакції "антиген-антитіло", антитіла, якщо вони є у крові птаха, зв'язуються з чутливою поверхнею пристрою, що викликає зсув кривої ППР. Дані про наявність або відсутність антитіл, які отримані за допомогою пристрою у польових умовах, передаються радіоканалом у медичний центр.

У розробленому приладі використана лабораторія на кристалі Spreeta TSPR 1A170100 виробництва фірми Texas Instruments, яка працює на основі на основі поверхневого плазмонного резонансу. Spreeta TSPR 1A170100 містить у своєму складі призму з чутливою поверхнею. У призму вбудовані світлодіод, дзеркало і лінійка фотоприймачів, причому вихід світлодіоду з'єднаний оптичним каналом з чутливою поверхнею призми. Чутлива поверхня призми з'єднана оптичним каналом з дзеркалом, яке має оптичний зв'язок зі входом лінійки фотоприймачів, вихід якої є виходом Spreeta TSPR 1A170100 [73-76].

В основу проєкту «Портативний біосенсор з радіоканалом для експрес-діагностики захворюваності на пташиний грип та інші гострі вірусні інфекції» програми «Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб» 2008-2012 рр. (№ ДР 0107U005187, 0110U005113, 0111U004434, 0112U001925), що виконано у Інституті кібернетики НАН України в 2008-2012, покладена задача створення такого пристрою для експрес-діагностики інфекційних захворювань, в якому завдяки введенню нових вузлів стало б можливим на виході отримувати дані про концентрацію вірусів на чутливій поверхні, відображати ці дані на матричному індикаторі і передавати радіоканалом у медичні центри дані про концентрацію вірусів.

Тому у пристрій введені аналого-цифровий перетворювач, мікропроцесорний блок електронної обробки, матричний індикатор і радіопередавач.

На рис. 1.4 зображено функціональну схему приладу. Вона містить призму з чутливою поверхнею 1 (Spreeta TSPR 1A170100 виробництва фірми Texas Instrument), аналого-цифровий перетворювач 2, мікропроцесорний блок електронної обробки 3, матричний індикатор 4, радіопередавач 5.



Рисунок 1.4 – Структурна схема портативного біосенсору, розробленого в ІК НАН України

Прилад працює наступним чином. Спочатку на чутливій поверхні призми 1 знаходиться тільки шар аналіту з антигенами, наприклад, пташиного грипу. Призма з чутливою поверхнею перетворює оптичний сигнал кута заломлення у відповідну послідовність імпульсів різної амплітуди, яка з виходу призми з чутливою поверхнею поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача, з виходу якого поточні значення кодів, пропорційні кривій поверхневого плазмонного резонансу, покроково переносяться до мікропроцесорного блоку електронної обробки і запам'ятовуються в ньому.

Для виміру концентрації антитіл на чутливу поверхню призми з шаром аналіту наносять краплину крові птахи і повторюють процедуру виміру. Якщо у досліджуваній рідині знаходяться антитіла, то відповідно до реакції "антиген-антитіло" відбудеться з'єднання вірусів з антитілами і кут заломлення оптичного сигналу в призмі з чутливою поверхнею буде змінений.

Новий кут заломлення перетворюється призмою з чутливою поверхнею у пропорційну послідовність імпульсів різної амплітуди, яка з виходу призми з чутливою поверхнею поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача, з виходу якого поточні значення кодів, пропорційні новій кривій поверхневого плазмонного резонансу, покроково переносяться до мікропроцесорного блоку електронної обробки. Блок електронної обробки вираховує зсув між двома кривими поверхневого плазмонного резонансу, які отримано протягом двох вимірів, і перетворює його в цифровий код. Цей код є пропорційним концентрації вірусів, наприклад, пташиного грипу у досліджуваній рідині. Якщо зсув між двома цими кривими відсутній, це означає, що у досліджуваній крові немає антитіл. Дані про наявність чи відсутність антитіл у досліджуваній крові птахи виносяться на матричний індикатор, а також за допомогою радіопередавача передаються у відповідний медичний центр. Слід відзначити, що для програмування і налагоджувальних робіт приладу використано мікропроцесорний набір SPR1 модель 1146641. Функціональну схему розробленого експериментального взірця наведено у Додатку Г.

В табл. 1.3 наведено порівняння параметрів біосенсорних приладів, за допомогою яких можна досить швидко визначити наявність вірусів, у тому числі і вірусів пташиного грипу. Як впливає з таблиці, портативні біосенсорні прилади для експрес-діагностики наявності вірусів пташиного грипу чи виявлення інших гострих інфекційних захворювань ще досі знаходяться на стадії розробки. Це свідчить про актуальність обраного напрямку.

Таблиця 1.3 – Порівняння характеристик портативних приладів на базі

ППР

Назва приладу	Розробник	Портативний	Стадія розробки	Тривалість тесту	Кількість оптичних каналів	Наявність бездротового зв'язку	Наявність визначення координат
Pioneer, Pioneer FE systems	sartorius.com, Німеччина	Ні	Серійний	До однієї години	3	–	–
CORGI IIF	plasmatrix.com, Канада	Так			1-2	–	–
OpenSPR, OpenSPR-XT	nicoyalife.com, Канада	Ні			2	–	–
MP-SPR Navi™	bionavis.com, Фінляндія	Ні			2-4	–	–
iMSPR-mini	en.icluebio.com, Південна Корея	Так			2		
SPR00	photonicsys.com, Ізраїль	Так			1-2		
P4SPR™	affiniteinstruments.com, Канада	Так			4		
The BiOptix 404pi	bioptixanalytical.com, США	Ні			4		
Reichert 4SPR	reichertspr.com, США				4		
BI-2500 Series, BI-4500 Series	biosensingusa.com, США				3-5		
Viacore	cytivalifesciences.com, Швеція, Велика Британія	Ні	Серійний	До однієї години	8		
Плазмон-7	plasmon.org.ua, Україна				2		
Плазмонтест	ІК НАНУ				1-2		
Біосенсор на основі модуля Spreeta	ІК НАНУ, ІБХ НАНУ	Так	Дослідний зразок	2-5 хвилин	3	+	+

Розвитком технології ППР є метод спектроскопії поверхневого плазмонного резонансу (поверхнево-плазмон-резонансна візуалізація, Surface Plasmon Resonance imaging, SPRi) – це оптична техніка виявлення для моніторингу та аналізу біомолекулярних взаємодій у режимі реального часу [77]. Такими приладами є Open Plex фірми HORIBA (Франція, Японія) [77], Sierra SPR-32 Pro (США) [78], IBIS-MX96 фірми IBIS Technologies B.V. (Нідерланди) [79].

Також відокремлюють локалізований поверхневий плазмонний резонанс (ЛППР), який генерується наночастинками золота на відміну від суцільної плівки золота, що використовується в традиційній ППР. ЛППР виробляє сильний резонансний пік поглинання у видимому діапазоні світла, при цьому його положення є дуже чутливим до місцевого показника заломлення, що оточує частинку [80]. Локальний поверхневий плазмонний резонанс використовується в приладі OpenSPR фірми Nicoya (Канада) [80].

Таким чином, на основі аналізу параметрів та особливостей застосування промислових ППР-приладів різних виробників можна зробити наступні висновки:

- практично усі промислові ППР-прилади призначені для роботи в лабораторних умовах;
- в 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 призначені 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 тільки дослідні зразки ППР-сенсорів, розроблені в ІК НАН України, що було доведено дисертантом на основі виконаного аналізу.

1.3 Медицина 4П і сучасні медичні діагностичні системи

1.3.1 Аналіз методів діагностики

Діагностика – це галузь знань, що вивчає теорію, моделі, засоби та методи організації процесів постановки діагнозу для різних застосувань. Це може бути технічна діагностика, яка вивчає стан технічних об'єктів, медична

діагностика, яка займається постановкою діагнозу пацієнтів, педагогічна діагностика, що вивчає відхил від норм педагогічного процесу та інші [81].

Медична діагностика – це наука про методи і принципи розпізнавання хвороб і постановки діагнозу, процес постановки діагнозу, розпізнавання хвороби і її позначення з використанням прийнятої медичної термінології.

Діагностика ґрунтується на всебічному і систематичному вивченні хворого, яке включає: збір анамнезу, об'єктивне дослідження стану організму, аналіз результатів лабораторних досліджень крові та різних виділень; рентгенологічні дослідження; графічні методи тощо [82].

На сьогодні відкриття нових і вдосконалення вже існуючих методів діагностики є важливим напрямком медичних досліджень, оскільки проблема занадто пізньої діагностики хвороб до сих пір залишається вирішальною для лікування. Особливо важлива рання діагностика захворювань, результат яких залежить від своєчасності лікування (напр., раку, туберкульозу).

Тенденції розвитку сучасної медицини пов'язані з досягненнями 4П-медицини [83], яка об'єднує в собі концепції персоніфікованості, предиктивності, превентивності (профілактичності) та партисипативності та побудована на принципах персоналізованого підходу до здоров'я людини. Персоніфікованість передбачає індивідуальний підхід до кожного пацієнта з врахуванням генетичних, біохімічних та фізіологічних особливостей людини. Предиктивність – це оцінювання ймовірності (виявлення факторів ризику) розвитку тієї чи іншої патології в конкретної особи. Партисипативність означає активну участь пацієнта у профілактиці можливих захворювань та прийнятті медичних рішень, тісну співпрацю з медиками та всіма учасниками діагностично-лікувального процесу. Профілактичність передбачає використання методів, що дають можливість запобігти або знизити ризикам розвитку захворювання, зменшити та контролювати їх. Принцип профілактичності є основним у превентивній медицині [83].

Отже, концепція нового напрямку медицини фокусується на індивідуальному здоров'ї людини та базується на доклінічному виявленні

захворювань [84]. Основними ознаками нової концепції є скринінгові, як правило, діагностичні методи обстеження та діагностики на базі інформаційних технологій.

Клінічними методами дослідження хворого є розпитування (скарги, анамнез), фізикальні методи, лабораторні методи дослідження, інструментальні та морфологічні методи дослідження (рис. 1.5) [85].

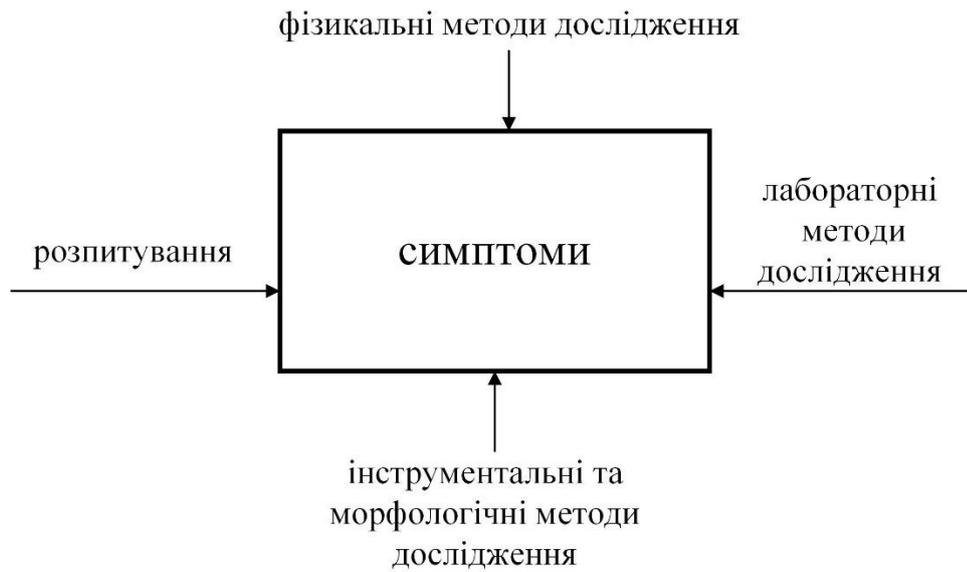


Рисунок 1.5 – Узагальнена модель медичної діагностики

Розпитування як метод доклінічного дослідження хворого має велике значення, так як тільки з його допомогою можна відтворити «виникнення, розвиток або результат» патологічного процесу, навіть в тих рідкісних випадках, коли для діагностики останнього використовуються виключно лабораторні або інструментальні методи дослідження [85].

Розрізняють такі види діагностики: рутинна (загальна) та експрес-діагностика. Рутинна (загальна) діагностика – це діагностика, яка використовується в повсякденній практиці. Це може бути, зокрема, офіційна або стандартна методика. Експрес-діагностика – метод аналізу, що дає можливість негайного вивчення об'єкта (як правило, біологічної рідини), не вдаючись до послуг лабораторії.

Розрізняють такі види методів швидкого аналізу: діагностичний тест; імуноаналітичний тест. Системи комп'ютерного аналізу зображення, які застосовують сьогодні, дають змогу відмовитися від візуальної, досить суб'єктивної оцінки. Інший напрям методів швидкого аналізу ґрунтується на застосуванні приладів іншого типу – біосенсорів, які за допомогою біологічних детекторів та електрохімічних пристроїв дозволяють виявити потрібний елемент в матеріалі й у вигляді електричного сигналу певної величини характеризувати концентрацію аналіту, який виявляють.

Методи швидкого аналізу в медицині застосовують при ургентних станах хворого, що вимагають від медика негайних дій та в ситуаціях, коли стан хворого не такий критичний, але лікарю, який знаходиться віч-на-віч із хворим, потрібно щонайшвидше обрати правильний спосіб лікування або здійснювати систематичний контроль за лікуванням [86].

Експрес-методи лабораторної діагностики – прискорені методи лабораторних аналізів, що забезпечують проведення дослідження в термін до 10-15 хвилин після отримання матеріалу. Результати аналізу можуть бути тільки якісними або дозволяють приблизно визначити концентрацію речовини в досліджуваній рідині, тобто є напівкількісними.

За допомогою малоінвазивних експрес-методів проводять масові (скринінгові) обстеження і динамічні спостереження за особами, які потребують медичного нагляду.

Виділяють кібернетичні методи медичної діагностики. У цьому сенсі це процес переробки інформації, який характеризується певним алгоритмом: загальний алгоритм включає три основних етапи: збір інформації про хворого і зберігання інформації, аналіз зібраної інформації (відбір найбільш істотних даних вказують на можливі патологічні відхилення), оцінку даних і встановлення діагнозу. Медичні інформаційні системи є одним із прикладів підвищення діагностичних можливостей лікаря на основі застосування кібернетичних методів.

Інформаційні технології дають інструменти для розвитку експрес-діагностики в різноманітних сферах медицини. За допомогою опитувальників різного призначення можна на ранніх етапах виявляти ознаки відповідних хвороб.

Створення сучасної медичної інформаційної системи переслідує декілька цілей [87]:

- підвищення якості діяльності медичних працівників та установ охорони здоров'я шляхом організації, яка відповідає рівню використовуваних технічних засобів, обробки медичної інформації, в тому числі шляхом вдосконалення процесів управління і планування;
- полегшення праці медичних працівників, ліквідація трудомістких і малоефективних процесів ручної обробки та аналізу медичних даних;
- забезпечення ефективного обміну інформацією з іншими інформаційними системами.

Одним із типів медичних інформаційних систем є медичні експертні системи. В роботі [87] основні типи медичних експертних систем згруповано в категорії. Категорія «інтерпретація» вирішує проблему опису ситуації по інформації, яка надходить від сенсора; діагностика – виявлення причин захворювання; прогноз – визначення ймовірних наслідків даних ситуацій; лікування, реабілітація – виконання послідовності запропонованих дій, спрямованих на приведення до норми; навчання – діагностика і корекція поведінки учня; планування – визначення послідовності дій; управління – управління станом об'єкта.

Переважає більшість медичних експертних систем орієнтована на роботу з окремими органами або системами органів людини. Класифікація найбільш відомих діагностуючих експертних систем за цим критерієм та приклади існуючих медичних експертних систем наведено в роботі [88].

Розглянемо деякі вітчизняні розробки.

В роботах [89-91] представлені результати розробки Трансдисциплінарної інтелектуальної інформаційно-аналітичної системи

супроводження процесів реабілітації при пандемії, яка може використовуватись не тільки в безпосередньому супроводженні реабілітаційних процедур на рівні "лікар – пацієнт", але і в якості системи підтримки прийняття рішень на різних рівнях, а також навчальних і дослідних процесів.

В роботі [92] представлені результати розробки медичної системи діагностування у стоматології ПС "DentExp", яка дає змогу лікарю встановлювати діагноз на підставі скарг пацієнта. Під час виведення результатів аналізу даних пацієнта програма видає імовірності різних груп та видів захворювань ротової порожнини в процентах.

В [93] сформульовано загальні вимоги та побудовано архітектуру інтегрованого онтоорієнтованого інформаційно-аналітичного середовища наукових досліджень, професійної цілительської діяльності та електронного навчання китайської образної медицини.

У роботі [94] розглянуто принцип побудови експертної системи з використанням нейронечіткої моделі. Наведено результати застосування розробленої системи в медицині, а саме для перевірки можливості застосування нечіткої нейронної мережі на всіх етапах медичної діагностики, для цього використані дані клінічного, нейро-ортопедичного, рентгенокомп'ютерногомографічного обстеження. Перевірка мережі на медичних даних дозволила з великою точністю автоматизувати процес діагностики.

Як інформаційний елемент сучасної системи в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України вперше створений інформаційний медичний комунікатор [95] з спеціальним прикладним програмним забезпеченням [96, 97] на базі мобільного планшетного комп'ютера. На сьогодні спеціалізоване програмне забезпечення комунікатора, який побудовано як відкриту систему, містить п'ять підсистем, кожна з яких виконує певний набір функцій.

Перша програмна підсистема призначена для медицини першого контакту і служить для надання детальної інформації про захворювання або травму та відповідні методи догляду або лікування при першому огляді хворого або постраждалого. Наявна функція об'ємного довідника для медицини першого контакту, що може використовуватися для інформаційної підтримки при першому огляді хворого чи постраждалого, зокрема сімейними лікарями. Здійснюються детальний аналіз та підтримка прийняття рішень, які можна отримати на місці огляду хворого чи постраждалого. На теперішній час в пристрої закладена інформація про більш ніж 200 станів.

Друга підсистема віддзеркалює існуючі в сімейній медицині стандарти та протоколи.

Третя підсистема відображає існуюче нормативно-правове поле в діяльності сімейного лікаря.

Четверта підсистема присвячена фармацевтичному забезпеченню в діяльності сімейного лікаря.

П'ята програмна підсистема призначена для забезпечення альтернативного спілкування з пацієнтами, які тимчасово або назавжди втратили можливість говорити. Таким чином, засоби альтернативного спілкування використовуються для розширення комунікативних можливостей у людей, які не говорять або мова яких недостатньо розвинута на даний час.

Розроблено шосту програмну підсистему для оцінки якості життя та виявлення відхилень від норми менструального циклу.

Розглянемо детальніше ознаки сучасних діагностичних систем. Діагностичні системи служать для визначення причин захворювання за симптомами, які спостерігаються у пацієнтів, часто є консультантами, які допомагають за результатами діагностики зробити прогноз, підібрати курс лікування або реабілітації. Вони можуть взаємодіяти з користувачем, щоб надати допомогу при діагностиці, а потім запропонувати порядок дій з проведення лікувальних заходів. Слід відзначити, що серед експертних систем

превалюють системи консультаційного типу. Сучасні медичні діагностичні системи відносяться саме до цього класу [87].

Основною особливістю діагностичних експертних систем є швидкість одержання валідного діагностуючого рішення [98]. Для цих цілей існують спеціальні архітектури експертних систем, що поєднують програмні й апаратні засоби – експертні системи реального часу.

Інформація від експерта або групи експертів надходить у програмний модуль підготовки вхідних даних для експертної системи, після цього оброблені й підготовлені дані передаються в експертну систему. За допомогою інтерфейсу відображаються результати діагностування і здійснюється керування процесом обробки даних. Також за допомогою інтерфейсу здійснюється друк результатів і передача даних [98].

Поняття "якість життя" (ЯЖ) хворого, з'явилося в Index Medicus в 1977 році для розуміння патологічного стану та оцінки ефективності проведеного лікування. Загальноприйнятого визначення ЯЖ поки не існує. ВООЗ визначає його «як сприйняття індивідумом свого положення в житті відповідно до культури та системи цінностей, у якій він існує, у зв'язку з його цілями, очікуваннями, стандартами та турботами». Це інтегральна характеристика фізичного, психологічного та соціального функціонування хворого на підставі суб'єктивного сприйняття. Іншими словами, ЯЖ – ступінь комфортності людини як у середині себе, так і в рамках свого суспільства, це ступінь розбіжності між сподіваннями та досягненнями людини [99, 100].

У відповідності до нової парадигми ЯЖ пацієнта є головною або додатковою метою лікування. Необхідно виділити три основні складові концепції якості життя: багатомірність, змінюваність у часі, участь хворого в оцінці свого стану. Оцінку ЯЖ повинен проводити пацієнт, тому що за результатами багатьох досліджень показано, що ця оцінка часто не співпадає з інтерпретацією лікаря чи дослідника.

Сфери застосування дослідження ЯЖ в практиці охорони здоров'я численні. До найважливіших можна віднести наступні [100]:

- стандартизація методів лікування;
- експертиза нових методів лікування з застосуванням міжнародних критеріїв, які прийняті в більшості розвинених країн;
- забезпечення повноцінного індивідуального моніторингу стану хворого з оцінкою ранніх та віддалених результатів лікування;
- розробка прогностичних моделей перебігу та наслідків захворювання;
- проведення соціально-медичних популяційних досліджень з виділенням груп ризику;
- забезпечення динамічного спостереження за групами ризику та оцінка ефективності профілактичних програм;
- підвищення якості експертизи нових лікарських засобів;
- економічне обґрунтування методів лікування з урахуванням таких показників, як «ціна-якість», «вартість-ефективність» та інших фармакоекономічних критеріїв.

На сьогодні, якість життя є важливим інструментом оцінки методів лікування, обстеження та підготовки медичного персоналу. Одночасно ЯЖ вважається першочерговим показником при порівнянні різних методів ведення пацієнтів та визначенні оптимальних лікувальних програм у світлі їх ефективності та вартості.

Для оцінки якості життя і спектра симптомів, пов'язаних із захворюванням і/або лікуванням, розроблені спеціальні інструменти – шкали та опитувальники, які заповнюються хворими. За допомогою шкал можна оцінити ступінь вираженості будь-якого параметра. В основі оцінки лежить вимір інтенсивності симптому або рівня функціонування (рівня якості життя). Використовують наступні типи шкал – цифрові оціночні, візуально-аналогові, вербально-аналогові або шкали вербальних оцінок.

За призначенням виділяють загальні та спеціальні опитувальники. Загальні опитувальники призначені для оцінки ЯЖ незалежно від нозології, ступеня тяжкості захворювання та виду лікування.

До найбільш поширених загальних опитувальників слід віднести:

- The World Health Organization Quality of Life (WHOQOL-bref) – скорочена версія опитувальника ВООЗ для оцінки якості життя.
- The Medical Outcomes Study Short Form-36 (MOS SF-36) – коротка форма неспецифічного опитувальника для визначення якості життя.
- Mc-Master Health Index Questionnaire (МНІQ) – опитувальник здоров'я Мак Майстра, призначений для вимірювання якості життя і стану здоров'я в різних популяціях.
- The Sickness Impact Profile (SIP) – опитувальник застосовується для хронологічної оцінки змін стану здоров'я або порівняння його у пацієнтів різних груп, ця анкета містить 136 запитань, що згруповані у 12 розділів.
- Nottingham Health Profile (NHP) – Ноттингемський профіль здоров'я.
- Опитувальник EuroQol2 (EQ5D), який складається з двох частин [101, 92].

У дослідженнях якості життя крім загального опитувальника у деяких випадках застосовують спеціалізовані опитувальники, які більш детально оцінюють психологічний статус, зокрема Госпітальна шкала для виявлення тривоги та депресії (The Hospital Anxiety and Depression Scale, HADS) [102].

Хворобо-специфічні методики, які відповідають конкретній хворобі з урахуванням симптомів та ознак патологічних станів, спрямовані на аналіз відповідних аспектів ЯЖ в осіб із цією нозологією. Вони більш чутливі до змін стану пацієнта, однак отримані результати не можна використовувати для порівняння між різними патологічними станами та населенням загалом. На сьогодні спеціальні опитувальники розроблені для більшості захворювань. Наприклад, для серцево-судинних захворювань, зороспецифічні [101], стоматологічні, для оцінки якості життя онкологічних хворих, опитувальник нездатності верхніх кінцівок (Disability of the Arm, Shoulder and Hand Outcome Measure, DASH) [103] та інші.

Для статистичного аналізу отриманих під час опитування даних найчастіше використовуються наступні програмні пакети: Statistica (StatSoft, Inc., США), IBM SPSS Statistics (SPSS Inc., США), MedCalc (MedCalc Software bvba, Бельгія), Minitab (Minitab, Inc., США), Microsoft Excel (Microsoft, США),

Origin (OriginLab Corporation, США), EZR (Eazy R, Японія), BioStat (Analyst Soft Inc., США).

Таким чином, медицина 4П перш за все націлена на ранню діагностику, що гарантує високу результативність лікування. С цією метою сучасні діагностичні системи повинні володіти можливостями масового скринінгу на рівні цілих територіальних громад. Виходячи з того, що індивідуальні медичні сенсори або розумні часи, мобільні телефони та інші носимі діагностичні засоби, які можуть бути вбудовані в одяг і мати змогу передавати дані у віддалені медичні центри, ще не дуже поширені серед населення, основним засобом масової оцінки якості життя на сьогодні є опитувальники. За їх оцінкою у разі потреби пацієнтам можуть бути надані необхідні медичні послуги. Для експресного аналізу відповідей на запитання використовуються спеціальні інформаційні технології, які побудовані як відкриті системи і постійно вдосконалюються в зв'язку з появою нових опитувальників, уточненням попередніх оцінок якості життя, використанням нових профілактичних засобів тощо.

Висновки за розділом 1

1. Встановлено, що в існуючих промислових системах точного землеробства в рослинництві практично відсутні засоби та методики вимірювання динамічних змін стану рослин.
2. Встановлено, що 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.

3. Доведено, що альтернативним до стандартних методів діагностики стану рослин є метод індукції флуоресценції хлорофілу, реалізація якого дозволяє досліджувати стан рослин на ранніх етапах розвитку в експресному режимі. Аналіз показав, що метод індукції флуоресценції хлорофілу є потужним інструментом для діагностики динамічних змін стану рослин.
4. Показано, що існуючі моделі фотосинтезу не пов'язані між собою і відображають окремі стадії цього процесу.
5. В результаті аналізу технічних характеристик існуючих приладів встановлено, що основним їх недоліком є недостатній інтелект. Зараз кінцева обробка даних здійснюється у комп'ютері або у хмарному середовищі. Вбудовані компоненти штучного інтелекту дозволять здійснювати інтерпретацію результатів вимірів 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.
6. Проаналізовані параметри та умови застосування промислових ППР-приладів 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, мали можливість працювати у польових умовах у віддаленому режимі, а саме в зонах епідемій з карантинними обмеженнями.
7. Доведено, що основним засобом масової оцінки якості життя на сьогодні є опитувальники. За оцінкою якості життя 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.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛІ І ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ЕКСПРЕСНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ РОСЛИН

2.1 Дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу

2.1.1 Опис досліджень

Протягом 2012-2016 рр в Інституті кібернетики проведено ряд досліджень [104-108] зміни індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою приладів сімейства «Флоратест» та бездротових біосенсорів (табл. 2.1).

Дослідження за допомогою флуориметра "Флоратест" проводились наступним чином:

- фіксувався час початку виміру ІФХ;
- фіксувалися температура та вологість оточуючого середовища метеостанцією виробництва фірми "TFA" [109];
- фіксувалася температура ґрунту (°C), вологість та кислотність ґрунту (pH) пристроєм "Діагностична система ґрунту 4 в 1" [110];
- темнова адаптація перед вимірюванням ІФХ становила 3 – 5 хв. в залежності від умов експерименту;
- лист, який вимірювався на рослині під час кожної серії вимірювання, вибирався з одного ярусу для всіх дослідних рослин;
- усі наведені параметри фіксувалися в журналі експерименту.

У табл. 2.1 наведено опис проведених досліджень методом індукції флуоресценції хлорофілу.

В даному розділі наведено результати аналізу кривих ІФХ, які отримано під час експериментів, результати побудови моделі ІФХ методом крокової регресії, програмний засіб для аналізу кривих ІФХ та методичне забезпечення для діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу на тестових культурах під впливом дії важких металів.

Таблиця 2.1 – Опис досліджень методом індукції флуоресценції хлорофілу

№	Рік	Назва дослідження	Обґрунтування вибору тестових рослин	Опис експерименту	Тривалість експерименту, днів
1	2	3	4	5	6
1	2013	Дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу бур'яну "Дурман" в результаті дії гербіциду "Раундап"	Дурман звичайний (сімейство пасльонові, Solanaceae) – однорічний бур'ян, що росте з насіння, рослина отруйна для тварин і людини. Зростає майже всюди на полях, в садах і городах. Може засмічувати такі групи культур: зернові; зернобобові; круп'яні; кормові; ефіроолійні. Важливою задачею є знищення надземних частин і недопущення дозрівання насіння [148]. Раундап – це гербіцид, діючою речовиною якого є гліфосат. Гліфосат – гербіцид широкого спектру дії, який характеризується швидким переміщенням від листків до коренів оброблених рослин.	Рослини поділені на 3 групи Група w1 – рослини з контрольної групи Група w2 – рослини обприскани робочим розчином гербіциду № 1. Група w3 – рослини обприскани робочим розчином гербіциду № 2. Робочий розчин № 1 отримано наступним чином: 2 мл гербіциду спочатку розчинено в 0,5 л води, далі 5 мл цього розчину розчинено в 100 мл води. Рослини з групи w1 обприскани робочим розчином № 1 (50 мл на кожний горщик з рослинами). робочий розчин № 2 отримано наступним чином: 2 мл гербіциду спочатку розчинено в 0,5 л води, далі 1 мл цього розчину розчинено в 100 мл води. Рослини з групи w2 обприскани робочим розчином № 2 (50 мл на кожний горщик з рослинами). Проведено 16 серій вимірювання.	56
2	2014	Дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу бур'яну "Дурман" в результаті дії гербіциду "Раундап"	Дослідження проводилися з 19.09.2014 по 31.10.2014. Рослини висаджені в 12 горщиків (всього 26 рослин). Рослини поділені на 6 груп: w11 – рослини політи робочим розчином гербіциду № 1 (описано нижче), не поливалися після 26.09.14. w12 – рослини політи робочим розчином гербіциду № 2, не поливалися після 26.09.14. w13 – рослини із контрольної групи, не поливалися після 26.09.14. w21 – рослини політи робочим розчином гербіциду № 1, полив відбувався. w22 – рослини політи робочим розчином гербіциду № 2, полив відбувався. w23 – контрольна група. Розчин гербіциду "Раундап" виготовлено матричним методом 26.09.14: 2 мл гербіциду спочатку розчинено в 0,5 л води, далі 1 мл цього розчину розчинено в 50 мл води і таким чином отримано робочий розчин № 1. Рослини з груп w11 та № w21 обприскани робочим розчином № 1 (50 мл на кожний горщик з рослинами). 2 мл гербіциду спочатку розчинено в 0,5 л води, далі 10 мл цього розчину розчинено в 50 мл води і таким чином отримано робочий розчин № 2. Рослини з груп № w12 та w22 обприскани робочим розчином № 2 (50 мл на кожний горщик з рослинами). Проведено 14 серій вимірювання.	Дослідження проводилися з 19.09.2014 по 31.10.2014. Рослини висаджені в 12 горщиків (всього 26 рослин). Рослини поділені на 6 груп: w11 – рослини політи робочим розчином гербіциду № 1 (описано нижче), не поливалися після 26.09.14. w12 – рослини політи робочим розчином гербіциду № 2, не поливалися після 26.09.14. w13 – рослини із контрольної групи, не поливалися після 26.09.14. w21 – рослини політи робочим розчином гербіциду № 1, полив відбувався. w22 – рослини політи робочим розчином гербіциду № 2, полив відбувався. w23 – контрольна група. Розчин гербіциду "Раундап" виготовлено матричним методом 26.09.14: 2 мл гербіциду спочатку розчинено в 0,5 л води, далі 1 мл цього розчину розчинено в 50 мл води і таким чином отримано робочий розчин № 1. Рослини з груп w11 та № w21 обприскани робочим розчином № 1 (50 мл на кожний горщик з рослинами). 2 мл гербіциду спочатку розчинено в 0,5 л води, далі 10 мл цього розчину розчинено в 50 мл води і таким чином отримано робочий розчин № 2. Рослини з груп № w12 та w22 обприскани робочим розчином № 2 (50 мл на кожний горщик з рослинами). Проведено 14 серій вимірювання.	43

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
3	2012	Дослідження ІФХ огірків звичайних при зневодненні	Огірки – це один найбільш поширених видів овочів. Огіркам потрібен частий і рясний полив від 2 до 7 раз в тиждень в залежності від умов навколишнього середовища. Рослини також вимогливі до жорсткості води, вологості повітря та ґрунту.	Рослини поділені на 3 групи: Група w1 – рослини обприскані робочим розчином гербіциду № 1 (описано нижче). Група w2 – рослини обприскані робочим розчином гербіциду № 2. Група w3 – рослини з контрольної групи. робочий розчин № 1 отримано наступним чином: 2 мл гербіциду сполучку розчинено в 0,5 л води, далі 1 мл цього розчину розчинено в 50 мл води. Рослини з групи w1 обприскані робочим розчином № 1 (50 мл на кожний горщик з рослинами). робочий розчин № 2 отримано наступним чином: 2 мл гербіциду сполучку розчинено в 0,5 л води, далі 10 мл цього розчину розчинено в 50 мл води. Рослини з групи w2 обприскані робочим розчином № 2 (50 мл на кожний горщик з рослинами). Проведено 9 серій вимірювання.	6 17
4	2015	Дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу під впливом важкого металу (сульфату міді) та відсутністю поливу рослин соя	Соя (лат. <i>Glycine max</i>) належить до сімейства бобових. Містить середньому 39 % білків, вітамінів і мінералів. Має високу врожайність, що зумовило її використання для виробництва продуктів харчування (входить до складу білкових продуктів для вегетаріанців, сирів, сосисок, котлет, супів та інших) і кормів для сільськогосподарських тварин [149].	Рослини поділено на чотири групи: група V1 – без впливу важкого металу, без поливу; група V2 (контрольна) – без CuSO ₄ , з поливом; група V3 – з впливом CuSO ₄ , без поливу; група V4 – з впливом CuSO ₄ , з поливом. Доза CuSO ₄ становила 6 г на 1 кг ґрунту для рослин в групах V3 та V4. Проведено 11 серій вимірювань.	18
5	2016	Дослідження впливу водного дефіциту на індукцію флуоресценції хлорофілу рослин соя		Рослини поділені на три групи: група W1 – з поливом, доза поливу дорівнює 50 мл води на 1 кг ґрунту, група W2 – з поливом, доза поливу - 150 мл води на 1 кг ґрунту, група W3 – без поливу. Після першої серії вимірювання кривих індукції флуоресценції хлорофілу припинено полив у групі W3. Проведено 12 серій вимірювань	26

2.1.2 Попередня обробка даних вимірювань

Розглянемо детальніше криві ІФХ рослини "Дурман", отримані за допомогою приладу "Флоратест" (див. табл. 2.1 п.1) (рис. 2.1). Кожна крива містить 90 відліків, які наводяться по осі X. По осі Y наводяться значення ІФХ для кожного відліку, які виражені у градаціях шкали приладу.

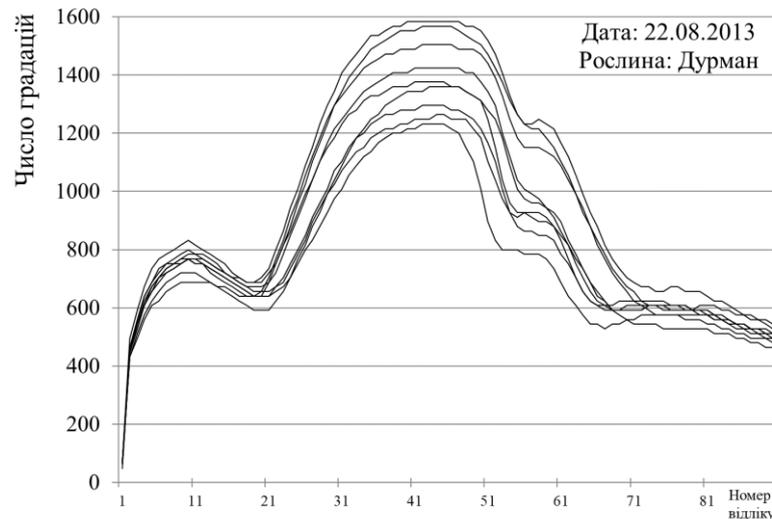


Рисунок 2.1 – Результати вимірювання ІФХ рослини дурману

Прилад "Флоратест" побудований на базі мікроконтролеру ADuC 842, який містить 12 бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП). 12 бітний АЦП здатний сформувати $2^{12} = 4096$ комбінацій коду. В подальшому при побудові кривих пропонується використовувати значення у відносних одиницях, яке отримуємо наступним чином:

$$iph_i(r. u.) = \frac{k_1 \cdot iph_i}{k_2},$$

де $k_1 = 2,5$ В – напруга вихідного сигналу АЦП, $k_2 = 4096$ – кількість комбінацій коду, iph_i – значення ІФХ в i -точці, iph_i (r.u.) – значення ІФХ в i -точці в відносних одиницях. По осі X на рис. 2.1 наведено номер відліку, а саме значення від 1 до 90. Однак індукція флуоресценції хлорофілу вимірюється не рівномірно, а відповідно до експоненціальної шкали. Тому графік ІФХ у відносних одиницях має наступний вигляд (рис. 2.2). Результати нормовані у

відносних одиницях дозволяють порівнювати параметри приладів різних виробників.

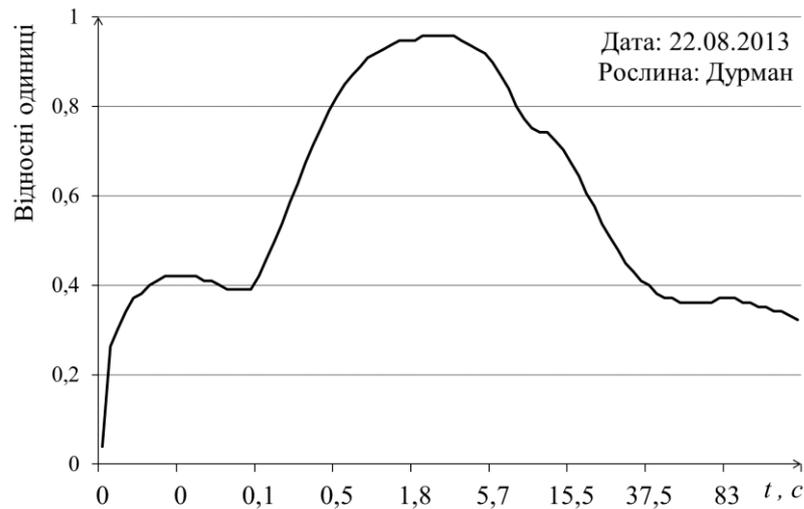


Рисунок 2.2 – Графік залежності ІФХ від часу рослини дурману у відносних одиницях

Під час експериментів над рослинами дурману отримано близько 1160 кривих ІФХ. Серед них – 460 в контрольних групах (рослини не піддавалися негативному впливу). При цьому, в контрольній групі розкид амплітуд вимірних значень ІФХ складав до 50 %. Для перевірки достовірності отриманих результатів статистичними методами, як правило, висувається припущення, що вибірки мають нормальний розподіл.

Для перевірки на нормальність існує більше двадцяти різноманітних критеріїв. Найбільш поширеними є критерій Андерсона-Дарлінга, критерій типу Колмогорова-Смірнова, критерій χ^2 Пірсона, критерій Шапіро-Вілка [111] та його модифікація критерій Шапіро-Франсія. При використанні вищезгаданих критеріїв слід враховувати об'єм вибірки, на якому даний метод може працювати.

В результаті проведених експериментів над рослинами дурману в вересні 2013 року отримано дві вибірки об'ємом 35 елементів. Для перевірки на нормальність кожну таку вибірку розділили на групи відповідно до номеру відліку. Тобто, аналізувалось 90 груп ординат, які мають 35 значень. За

результатами розрахунків визначено кількість груп, які підпорядковуються нормальному розподілу.

Перевірка на нормальність здійснювалася методом Саркаді [112]. Перевірка показала, що всі 90 груп підпорядковуються нормальному розподілу. Однак цей метод має низький ранг, тому отримані дані не можна вважати достовірними і в подальшому не враховуються.

З врахуванням вище наведеного додатково для аналізу обрано метод Шапіро-Вілка [111], який використовується на вибірках об'ємом 8-50 елементів. Жодна з груп не підпорядковується нормальному розподілу, перевірку виконано для рівнів значущості $\alpha=0,01$; $\alpha=0,05$ та $\alpha=0,1$.

Метод Шапіро-Вілка реалізовано за допомогою мови Visual Basic в середовищі Microsoft Excel. Для перевірки роботи програми використано тестові дані, які згенеровано за допомогою функції `norm ()` пакету `nortest` мови програмування R [113].

Отже, в результаті аналізу отриманих нами експериментальних даних виявлено, що вони не підпорядковуються нормальному розподілу. Тому стандартні статистичні методи обробки даних не доцільно використовувати для аналізу груп кривих. Рекомендовано замість середніх значень груп ординат використати значення медіани, 25 і 75 перцентилі [114].

2.1.3 Оцінка загального часу вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою приладів сімейства "Флоратест"

Для того, щоб отримати одну криву ІФХ, за допомогою портативного флуориметру "Флоратест", необхідно виконати наступні дії:

- 1) розмістити виносний оптичний сенсор (далі кліпса) на вибраний листок рослини;
- 2) запустити таймер на 3 хв. для проведення темної адаптації;
- 3) включити прилад;

- 4) після сигналу таймера обрати та запустити необхідний режим вимірювання ІФХ (в нашому випадку $280 \text{ с} \approx 5 \text{ хв.}$);
- 5) після закінчення вимірювання зберегти результат вимірювання ІФХ у пам'яті приладу;
- 6) перенести кліпсу на новий листок та повторити вимірювання ІФХ п.п 1-5.

Таким чином на проведення вимірювання № 01 в лабораторних умовах під час досліду над рослиною Дурман (див. табл. 2.1 п. 2) 19.09.14 витрачено:

$$t_m = 10 \text{ хв.} \times 26 \text{ вимірювань ІФХ} = 260 \text{ хв.} = 4 \text{ год. } 20 \text{ хв.},$$

де t_m – час вимірювання ІФХ.

Далі, час необхідний для вимірювання, зменшувався, оскільки під час експерименту рослини гинули під дією гербіциду (табл. 2.2). В середньому на вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу витрачалося 3 год. 17 хв., всього на проведення експерименту витрачено 41 год. 40 хв.

Таблиця 2.2 – Час, який витрачено на експеримент

Дата вимірювання	Номер вимірювання	Кількість отриманих кривих ІФХ	Час вимірювання, год. хв.
19.09.2014	01	26	4 год. 20 хв.
22.09.2014	02	17	2 год. 50 хв.
25.09.2014	03	24	4 год. 0 хв.
29.09.2014	04	24	4 год. 0 хв.
01.10.2014	05	21	3 год. 30 хв.
03.10.2014	06	25	4 год. 10 хв.
07.10.2014	07	24	4 год. 0 хв.
10.10.2014	08	19	3 год. 10 хв.
13.10.2014	09	19	3 год. 10 хв.
15.10.2014	10	18	3 год. 0 хв.
17.10.2014	11	19	3 год. 10 хв.
20.10.2014	12	19	3 год. 10 хв.
22.10.2014	13	10	1 год. 40 хв.
31.10.2014	14	11	1 год. 50 хв.
Середній час, який витрачено на одне вимірювання, год. хв.			3 год. 17 хв.
Загальний час вимірювання, год. хв.			41 год. 40 хв.

Додатково слід врахувати час на передавання даних у комп'ютер. В середньому на це витрачалося:

$$t_s = 15 \text{ хв.} \times 14 \text{ циклів вимірювань} = 210 \text{ хв.} = 3 \text{ год. } 30 \text{ хв.},$$

де t_s – час передавання.

Отже, всього на експеримент витрачено:

$$t_e = t_s + t_m = 45 \text{ год. } 10 \text{ хв.},$$

де t_e – час проведення експерименту.

Слід врахувати, що це витрати часу на експеримент в лабораторних умовах, який проводився на двадцяти шести рослинах. При проведенні розглянутих досліджень на відкритому ґрунті у польових умовах для великої кількості рослин час експериментів значно зростає. Крім того, час темної адаптації також може становити більше трьох хвилин. Даний факт необхідно враховувати при плануванні проведення експерименту.

Таким чином, показано, що для виконання експериментів методом ІФХ в лабораторних умовах необхідно багато часу, що необхідно враховувати при плануванні експерименту.

2.1.4 Оцінка оптимального розташування сенсора на листі рослини під час проведення експериментів

Важливим питанням є те, як необхідно розміщувати сенсор на листку рослини і чи враховувати структуру листа. Ця проблема зумовлена тим, що структура листа є неоднорідною із-за наявних на листі жилок.

Сенсор можна розмістити декількома способами: сенсор знаходиться над поверхнею листа між жилками, сенсор знаходиться над поверхнею листа над жилкою. Останній варіант можна розбити на декілька варіантів, оскільки жилки відрізняються за товщиною: сенсор розміщується над тонкими боковими жилками або над товстою центральною жилкою. Якщо листок має велику площу, то останній варіант може не розглядатися, оскільки розміри

сенсору (діаметр світлової плями рівний 5 мм) не дозволять розмістити світлодіод над центральною жилкою.

Проведено дослідження з метою визначення залежності індукції флуоресценції хлорофілу від місця розташування сенсора портативного приладу "Флоратест" на листі рослини. Об'єктом дослідження обрано солодкий перець. Рослини вирощені у горщику в кімнатних умовах. Проводилися вимірювання на місці без жилки (група V1), на місці над тонкою жилкою (група V2), на місці над товстою центральною жилкою (ширина 1 мм) (група V3).

Всього у групі без жилки отримано 25 кривих індукції флуоресценції хлорофілу, над тонкою жилкою – 31, над товстою жилкою – 6. Відповідно до [105] для аналізу отриманих даних значення індукції флуоресценції рекомендовано нормувати. Для аналізу отриманих даних використано параметри флуоресценції F_0 , F_v , F_{st} , F_m , F_v/F_m та Area. Розрахунок параметрів виконано в середовищі Microsoft Excel. В табл. 2.3 наведені середні нормовані значення параметрів ІФХ.

Таблиця 2.3 – Усереднені значення параметрів ІФХ

Параметр ІФХ	F_0	F_m	F_{st}	F_v	F_v/F_m	Area
Місце без жилки	0,125	1,593	0,577	1,468	0,921	16,852
Місце над тонкою жилкою	0,127	1,628	0,586	1,502	0,922	17,024
Місце над центральною жилкою	0,148	1,738	0,641	1,59	0,915	16,308

На рис. 2.3 наведено графіки індукції флуоресценції хлорофілу, отримані в групах V1, V2, V3.

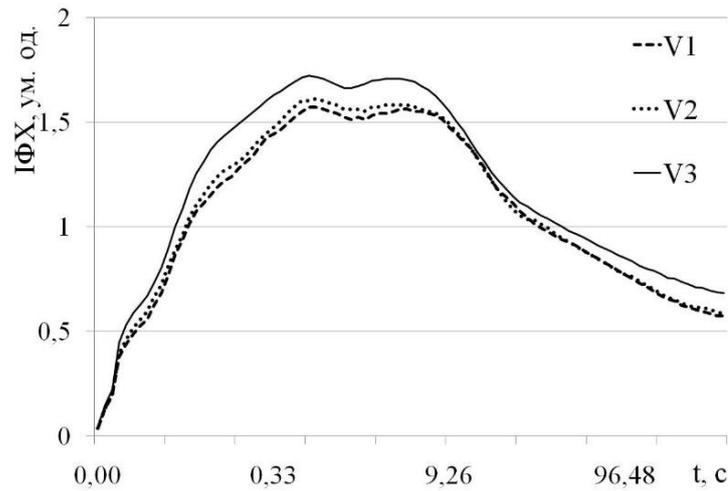


Рисунок 2.3 – Залежність індукції флуоресценції хлорофілу солодкого перцю від часу в групах V1, V2, V3

Для порівняння параметрів ІФХ використано таку відносну величину, як коефіцієнт порівняння. Це відношення абсолютних показників, які відносяться до різних об'єктів, але до одного і того ж часу, і розраховується за формулою:

$$k_c = \frac{k_1}{k_2} \cdot 100\%,$$

де k_c – коефіцієнти порівняння, k_1 – показник першого досліджуваного об'єкта, k_2 – показник другого досліджуваного об'єкта.

В табл. 2.4 наведені значення розрахованих коефіцієнтів порівняння для двох варіантів: k_{c1} – значення параметру ІФХ в місці над тонкою жилкою / значення параметру ІФХ в місці без жилки; k_{c2} – значення параметру ІФХ в місці над товстою жилкою / значення параметру ІФХ в місці без жилки.

Таблиця 2.4 – Розраховані коефіцієнти порівняння

Коефіцієнт порівняння	Параметр індукції флуоресценції хлорофілу					
	F_0	F_m	F_{st}	F_v	F_v/F_m	Area
k_{c1}	101,31	102,22	101,63	102,3	100,08	101,03
k_{c2}	118,49	109,12	111,22	108,32	99,32	96,77

На основі аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу, параметрів флуоресценції хлорофілу F_0 , F_m , F_v , F_v/F_m , $A_{\text{геа}}$ та розрахованих коефіцієнтів порівняння можна зробити висновок, що для рослини з сітчастим жилкуванням різниця між кривими індукції флуоресценції хлорофілу, отриманими на місці без жилки та в місці над тонкою жилкою, є несуттєвою, оскільки становить менше 5 %. Однак не рекомендується проводити вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу над товстою центральною жилкою. Виконані дослідження та аналіз показали, що при розробці методики діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу слід брати до уваги розташування сенсора на листку рослини. Під час досліджень сенсори слід розміщувати на листку 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 жилок не вплине на результати вимірювання кривих ІФХ.

2.1.5 Візуальний аналіз кривих ІФХ

Дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу під впливом важкого металу (сульфату міді) та відсутністю поливу. На рис. 2.4–2.6 наведені медіанні значення ІФХ в групах, отримані в першій, третій та останній день експерименту над рослиною сої (див. табл. 2.1, п. 4) відповідно. 10.08.15 проведено останнє вимірювання в групі V3, оскільки всі рослини засохли, за винятком двох пожовтілих листків, на яких і проведено вимірювання.

Надалі вимірювання в цій групі не проводилося і на рис. 2.6 крива індукції флуоресценції хлорофілу для групи V3 відсутня.

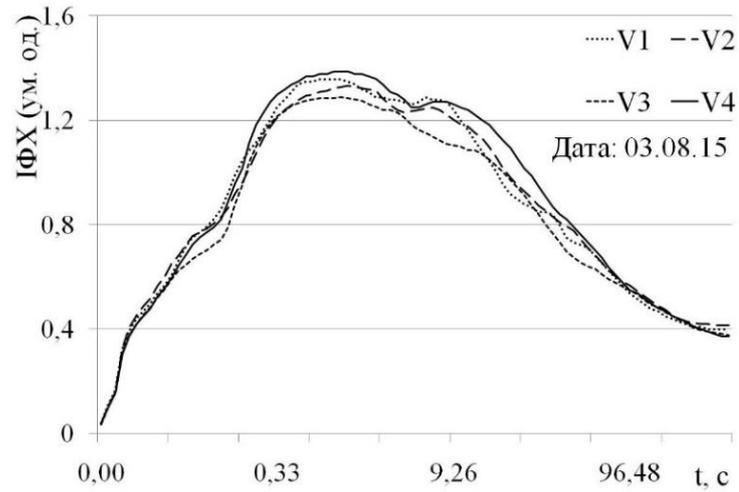


Рисунок 2.4 – Криві індукції флуоресценції хлорофілу в перший день досліду

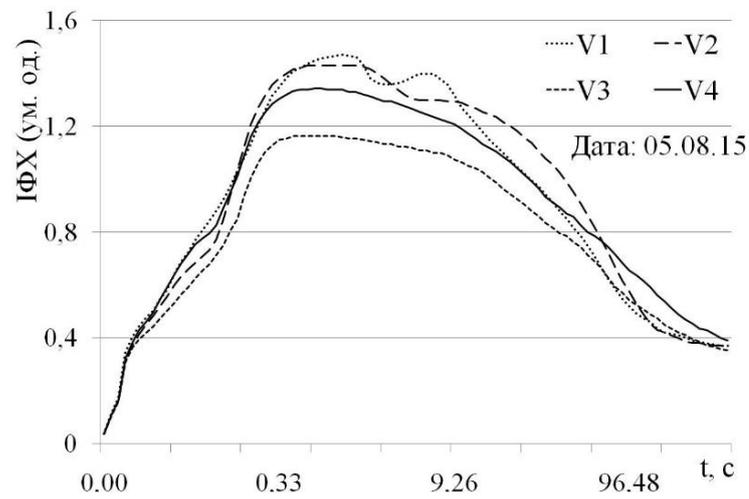


Рисунок 2.5 – Криві індукції флуоресценції хлорофілу на третій день досліду

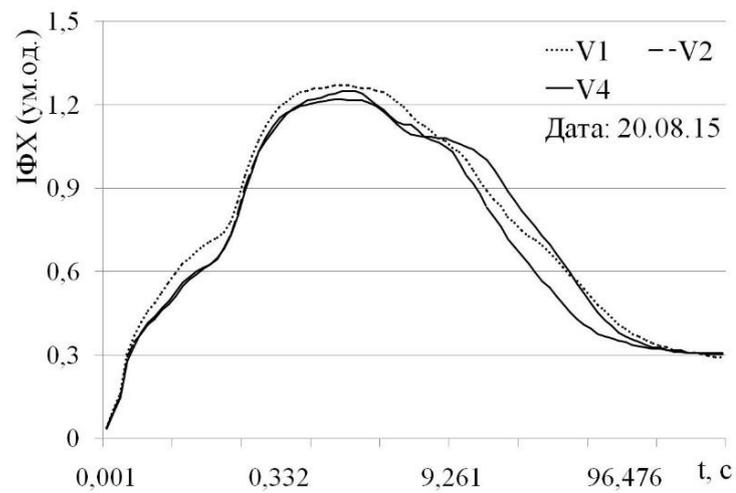


Рисунок 2.6 – Криві індукції флуоресценції хлорофілу в останній день досліду

На основі вимірних даних усереднено та розраховано значення параметрів ІФХ (F_0 , F_m , F_{st} та F_v , F_v/F_m , Area, R_{fd}) для усіх груп. На рис. 2.7 наведені значення параметру F_v/F_m в групах V3 (без поливу, з впливом важкого металу) та V2 (контрольна). На другий день досліду значення параметру в групі V3 різко падає, що свідчить про вплив важкого металу на рослину. На четвертий день значення підвищилося, що свідчить про пристосування фотосинтетичного апарату рослини до впливу важкого металу, проте залишалось нижче ніж значення в контрольній групі.

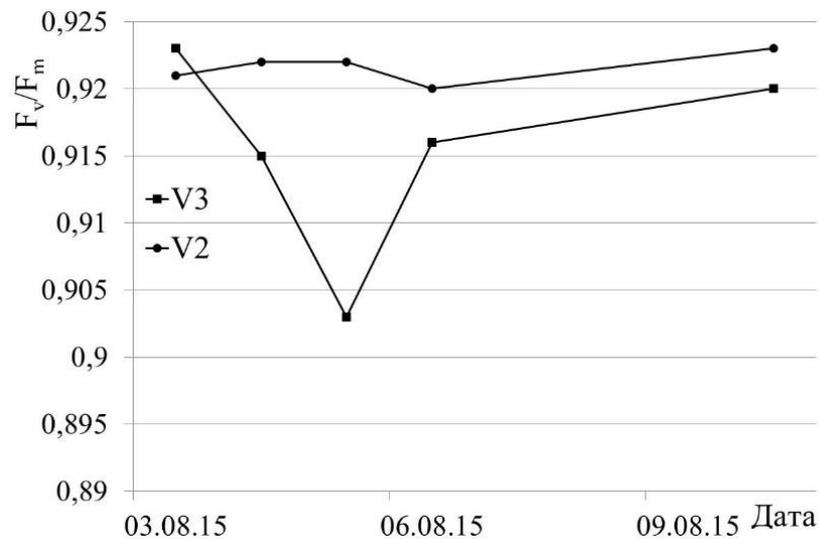


Рисунок 2.7 – Значення параметру F_v/F_m в контрольній групі (V2) та дослідній групі (V3)

Отже, значення параметру F_v/F_m знижується при підвищенні температури оточуючого середовища. Тому під час вимірювання слід уникати різких перепадів температури, оскільки це впливає на результати досліджень. Значення параметру F_v/F_m різко знижується після впливу важкого металу.

Дослідження впливу водного дефіциту на індукцію флуоресценції хлорофілу рослин. Об'єктом дослідження обрано рослину соя (лат. *Glycine max*), засухостійкий сорт Сіверка (див. табл. 2.1). В п. 2.3 [105] при переведенні з градацій в умовні одиниці виконуються дві математичні операції, при цьому не враховується похибка виконання операцій. При розрахунку параметрів F_v , F_v/F_m , Area, R_{fd} виникають похибки математичних операцій та округлення, які можуть впливати на результати обчислення, тому

дані не нормувалися. На основі вимірних даних розраховано та усереднено значення параметрів індукції флуоресценції хлорофілу (F_0 , F_j , F_i , F_m , F_{st} , F_v , F_v/F_m , Area, R_{fd}) для усіх груп (табл. 2.5, 2.6).

Таблиця 2.5 – Усереднені значення параметрів індукції флуоресценції хлорофілу (F_0 , F_m , F_{st}) та відповідні стандартні відхилення

Параметр	Група	День експерименту											
		1-й	2-й	3-й	5-й	8-й	9-й	10-й	12-й	17-й	19-й	23-й	26-й
F_0	W1	166,67± 30,86	214,67± 73,94	166,67± 36,4	185,33± 55,62	169,33± 23,09	152± 16	190,67± 66,66	181,33± 47,43	152± 18,68	145,33± 18,63	169,33± 23,09	166,67± 49,41
	W2	185,33± 41,19	180± 37,45	161,33± 25,03	168± 41,22	164± 25,64	154,67± 17,17	189,33± 59,02	189,33± 34,68	160± 32	157,33± 20,28	170,67± 32,24	189,33± 56,19
	W3	165,33± 23,96	184± 46,02	164± 21,71	173,33± 29,61	169,33± 25,94	162,67± 11,48	188± 60,69	205,33± 31,88	160± 21,57	157,33± 25,37	165,33± 20,84	182,67± 35,09
F_m	W1	1982,67± ± 233,41	1993,33± ± 245,27	1957,33± ± 184,12	1944± 255,41	1925,33± ± 290,76	2065,33± ± 191,08	1937,33± ± 199,19	1884± 129,11	1752± 227,45	1856± 155,13	1854,67± ± 246,41	1657,33± ± 293,48
	W2	2028± 188,59	1969,33± ± 198,84	2066,67± ± 197,6	2024± 208,11	2110,67± ± 198,61	2092± 200,9	2049,33± ± 169,39	1812± 271,2	2053,33± ± 354,07	2106,67± 287,06	1968± 257,45	1925,33± ± 277,58
	W3	1980± 186,23	2000± 141,14	2074,67± ± 200,92	2049,33± ± 190,84	2150,67± ± 216,44	2133,33± ± 171,42	2070,67± ± 221,23	1778,67± ± 267,63	1974,67± ± 302,08	1988± 276,63	2046,67± ± 224,88	1986,67± ± 198,3
F_{st}	W1	650,67± 115,44	648± 133,6	600± 79,42	630,67± 76,72	620± 113,37	685,33± 145,02	601,33± 120,02	604± 82,19	534,67± 82	548± 69,62	585,33± 68,38	574,67± 92,66
	W2	644± 86,06	646,67± 121,37	630,67± 79,7	636± 54,21	614,67± 86,42	685,33± 126,32	646,67± 104,47	600± 64,9	674,67± 169,17	665,33± 101,3	676± 149,96	642,67± 94,98
	W3	640± 86,57	616± 70,74	624± 57,89	650,67± 60,38	665,33± 75,19	725,33± 89,56	657,33± 155,94	626,67± 99,06	618,67± 111,55	601,33± 95,38	640± 109,37	622,67± 118,65

Таблиця 2.6 – Усереднені значення параметрів індукції флуоресценції хлорофілу (F_v , F_v/F_m , Area, R_{fd})

Параметр	Група	День експерименту											
		1-й	2-й	3-й	5-й	8-й	9-й	10-й	12-й	17-й	19-й	23-й	26-й
F_v	W1	1816,00	1778,67	1790,67	1758,67	1756,00	1913,33	1746,67	1702,67	1600,00	1710,67	1685,33	1490,67
	W2	1842,67	1789,33	1905,33	1856,00	1946,67	1937,33	1860,00	1622,67	1893,33	1949,33	1797,33	1736,00
	W3	1814,67	1816,00	1910,67	1876,00	1981,33	1970,67	1882,67	1573,33	1814,67	1830,67	1881,33	1804,00
F_v/F_m	W1	0,915	0,893	0,915	0,905	0,911	0,926	0,902	0,904	0,912	0,922	0,908	0,898
	W2	0,909	0,909	0,922	0,918	0,922	0,926	0,908	0,895	0,922	0,925	0,914	0,902
	W3	0,916	0,908	0,921	0,915	0,921	0,924	0,910	0,883	0,918	0,921	0,919	0,908
Area	W1	23494,6	24293,3	24020,7	23295,3	21204,7	25050,0	25225,3	20264,7	19946,7	22992,7	21536,0	21076,0
	W2	23144,0	23768,0	24107,3	23868,0	24437,3	24955,3	25215,3	17892,7	24174,7	24897,3	21513,3	21332,0
	W3	23522,0	24449,3	24528,7	23292,7	24000,0	24880,0	24964,0	16925,3	22724,7	23146,0	23404,7	22647,3
R_{fd}	W1	2,111	2,144	2,285	2,089	2,160	2,087	2,296	2,164	2,303	2,415	2,197	1,936
	W2	2,180	2,102	2,297	2,183	2,464	2,121	2,230	2,030	2,109	2,179	1,994	2,023
	W3	2,122	2,282	2,337	2,164	2,264	1,972	2,254	1,866	2,227	2,320	2,239	2,265

На рис. 2.8 наведені криві індукції флуоресценції хлорофілу (середні значення в групі), отримані в перший день експерименту. Форма кривих та амплітуда в усіх дослідних групах майже співпадає.

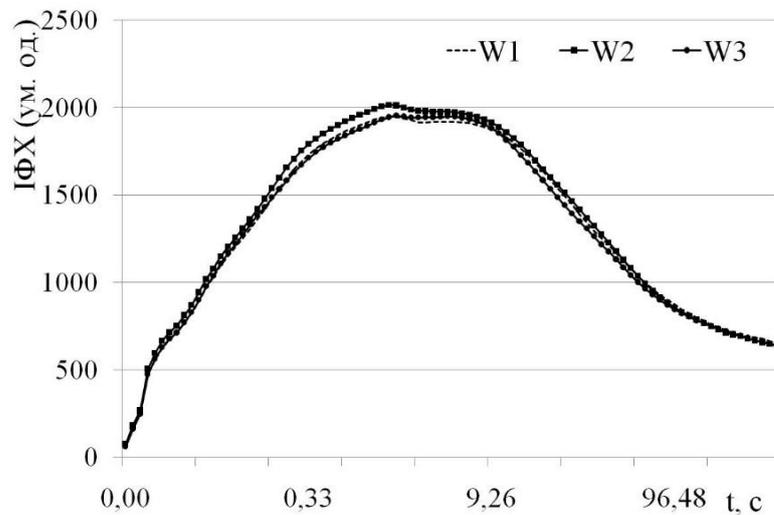


Рисунок 2.8 – Криві індукції флуоресценції хлорофілу в перший день дослідження

На рис. 2.9 наведені криві індукції флуоресценції хлорофілу (середні значення в групі), отримані на восьмий день експерименту. Форма кривих усіх дослідних груп майже співпадає, однак амплітуда в групі W1 менша, ніж в групах W2 та W3.

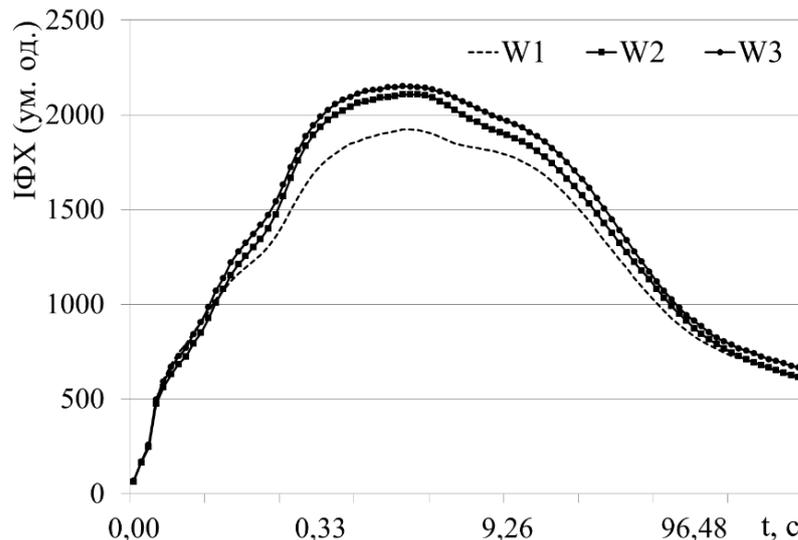


Рисунок 2.9 – Криві індукції флуоресценції хлорофілу на восьмий день дослідження

На 17-й день експерименту зафіксовано наявність зав'язей квіток на рослинах в усіх дослідних групах. На рис. 2.10 наведені криві індукції флуоресценції хлорофілу (середні значення в групі), отримані на 26-й

(останній) день експерименту. Форма кривих в групах W2 (150 мл води на 1 кг ґрунту) та групі W3 (без поливу) майже співпадає, форма кривої в групі W1 (50 мл води на 1 кг ґрунту) значно відрізняється.

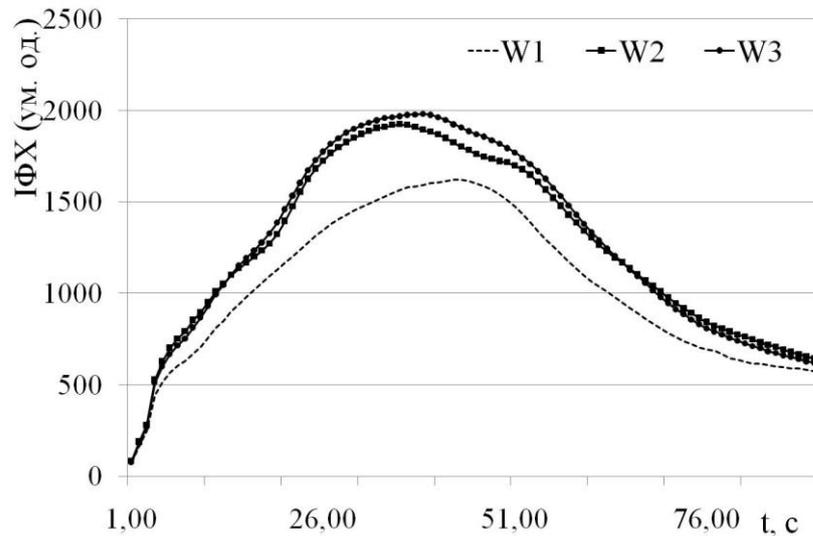


Рисунок 2.10 – Криві індукції флуоресценції хлорофілу в останній (двадцять шостий) день досліду

На рис. 2.11 наведені зміни параметру життєдіяльності R_{fd} в усіх дослідних групах впродовж експерименту. На 23-й день експерименту значення в групах W1 та W3 майже співпадають (різниця становить 1,89 %), в той же час в останній день (26-й) експерименту значення в групі W3 відрізняються від значень, отриманих в групі W2 на 12 %, а значення в групі W2 відрізняється від значення, отриманого в групі W3 на 4 %.

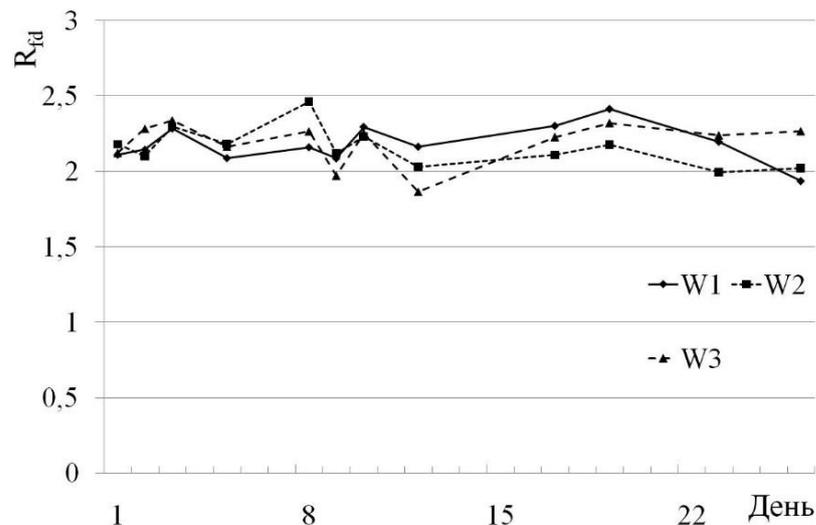


Рисунок 2.11 – Значення параметру R_{fd} в усіх дослідних групах

На рис. 2.12 наведені зміни параметру F_i в усіх дослідних групах впродовж експерименту. Починаючи з 9-го дня експерименту значення, отримане в групі W1, значно відрізняється від значень отриманих в групах W2 та W3. Різниця між значеннями отриманими в групах W1 та W2 на 17-й 19-й, 23-й та 26-й день експерименту становить 9.9 %, 17.65 %, 10.3 % та 23.9 % відповідно.

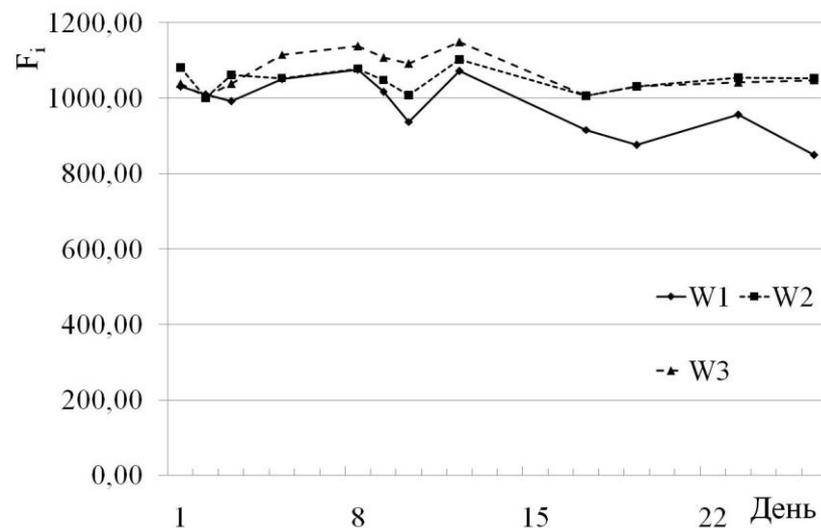


Рисунок 2.12 – Значення параметру F_i в усіх дослідних групах

Дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу в залежності від властивостей води, що використовується при штучному зрошуванні. Об'єктом дослідження обрано рослину плектрантус (лат. *Plectranthus*, домашня м'ята). Цей експеримент запропонований для виконання Інститутом геотехнічної механіки НАН України ім. М. С. Полякова .

Метан (англ. *methane*) – найпростіша органічна сполука вуглецю з воднем, природний безбарвний газ без запаху, хімічна формула – CH_4 . Виділення метану у виробітках шахт створює особливу небезпеку під час видобутку вугілля. Шахти, що розробляють пласти, небезпечні або загрозові за раптовими викидами вугілля, газу й породи, належать до особливої категорії – небезпечних за раптовими викидами.

Метан має здатність накопичуватися у воді. Співробітниками Інституту геотехнічної механіки надано два види шахтної води без уточнення, що кожна рідина собою являє. Додатково для експерименту взята звичайна фільтрована вода. Кожну рідину налили в посуд об'ємом 200 мл. Листя плектрантусу відрізали від здорової рослини, яка росте в горщику та помістили в посуд. Далі листя витягли, дали висохнути та провели вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу. Після вимірювання листя повертали у рідину. Дослідження проводилися протягом 6 днів з інтервалом 24 години.

На рис. 2.13 наведено медіанні криві для кожної групи на шостий день досліду. На рисунку: Control – значення в контрольній групі з фільтрованою водою, C1 – шахтна вода № 1, C2 – шахтна вода № 2. Можна зробити припущення, що шахтна вода № 2 за складом подібна на рідину в контрольній групі.

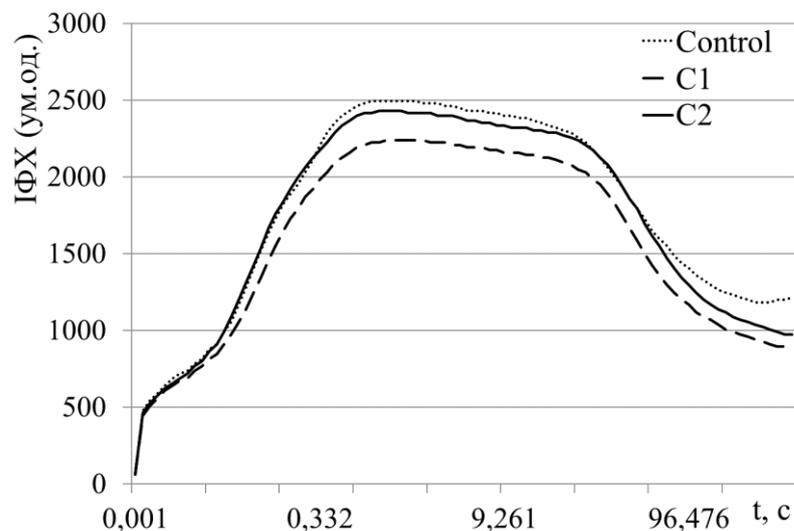


Рисунок 2.13 – Криві індукції флуоресценції хлорофілу

Таким чином можна зробити висновок, що оцінку стану рослин під впливом стресових факторів, а саме впливу водного дефіциту, важкого металу та метану можна здійснювати візуально за формами кривих ІФХ та на основі аналізу параметрів.

2.1.6 Аналіз результатів експериментів щодо оцінки залежності параметрів флуоресценції хлорофілу від параметрів навколишнього середовища

Важливими вимогами до процесу вимірювання флуоресценції хлорофілу є регулярність та підтримання однакових умов вимірювання.

У серпні 2015 року проведено дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу рослини сої (див. табл. 2.1), яку вирощено в лабораторних умовах з насіння, під впливом важкого металу (сульфату міді) та за відсутності поливу. Дослідження проводилися в лабораторних умовах. Перед вимірюваннями рослини переносилися у тінь для темної адаптації. Лабораторія охолоджувалася протягом однакового часу. Однак під час вимірювання 2 рази виникала ситуація (11.08.15 та 13.08.15), коли вимірювання починалися раніше, ніж в інші дні. Відповідно температури повітря та ґрунту були вищими.

В результаті значення параметру F_v/F_m в контрольній групі (V2) 11.08.15 та 13.08.15 значно знизилося в порівнянні з іншими днями. На рис. 2.14 та рис. 2.15 спостерігається зв'язок між температурою ґрунту та повітря і значеннями параметру F_v/F_m .

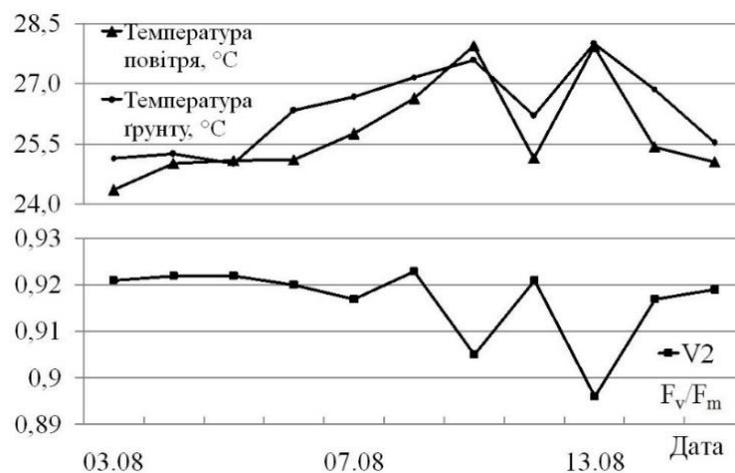


Рисунок 2.14 – Температури повітря і ґрунту та значення параметру F_v/F_m в контрольній групі (V2) у 2015 році

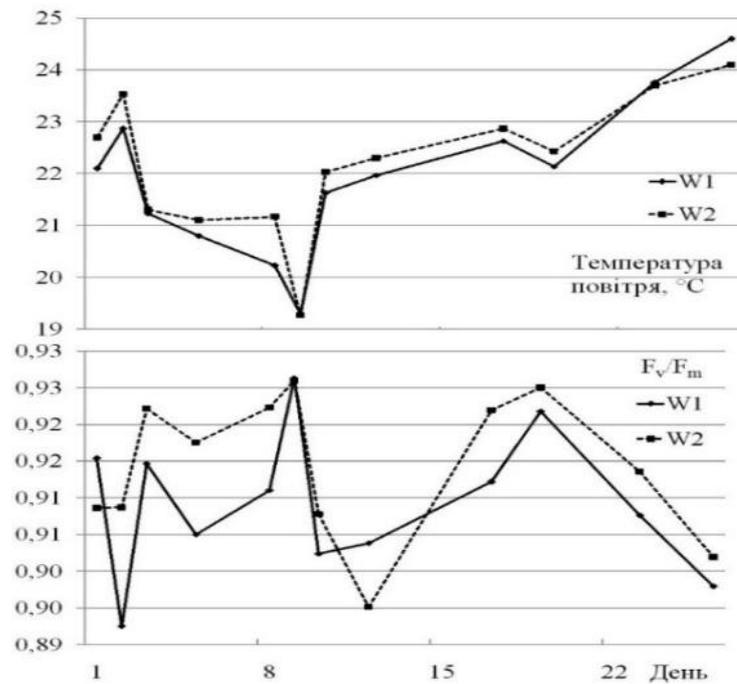


Рисунок 2.15 – Температури повітря і ґрунту та значення параметру F_v/F_m в досліді над рослиною сої, отримані в групах W1 та W2 у 2016 році

Для того, щоб перевірити вищезазначене припущення про наявність оберненого взаємозв'язку між параметром F_v/F_m та температурою оточуючого середовища, а також виявити інші зв'язки, розраховано коефіцієнти кореляції Пірсона [115, 116] між параметрами флуоресценції (F_0 , F_{st} , F_m , F_v , F_v/F_m , Area, R_{fd} , F_i , F_j) та параметрами оточуючого середовища (температура повітря, температура ґрунту, вологість повітря, кислотність, вологість ґрунту).

Розрахунок виконувався попарно між усередненим значенням параметра ІФХ у кожній групі та усередненим значенням параметра оточуючого середовища, яке фіксувалося під час проведення експерименту в даній групі. Оцінювання значення коефіцієнта Пірсона здійснюється за допомогою порівняння значення його модуля з відповідним критичним значенням для заданого рівня значущості з таблиці критичних значень коефіцієнта кореляції Пірсона.

Розраховано значення коефіцієнтів кореляції для даних, отриманих під час дослідів, а саме: дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу під впливом важкого металу (сульфату міді) та відсутністю поливу, дослідження

Розрахунок коефіцієнтів кореляції підтвердив наявність оберненої залежності та додатної залежності між параметрами флуоресценції F_v/F_m і F_0 відповідно та температурою повітря і ґрунту для значень, отриманих в досліді над рослиною соя, проведених у 2015 році в один період часу, однак для досліді над рослиною соя, проведеного в 2016 році, наявність залежності не підтверджена. Ймовірно, це пов'язано з тим, що в 2015 році відбулося два перепади температури поспіль (температура повітря піднялася на 1,15 °С, опустилася на 2,23, піднялася на 2,78, опустилася на 2,23), тоді як у 2016 році перепади температури були з певним інтервалом (спочатку зростання температури на 0,77 °С, далі зниження на 1,63, декілька днів з невеликими коливаннями, зниження на 0,93 і зростання на 2,33°С). Під час аналізу даних, отриманих у 2016 році в досліді над рослиною сої, встановлено обернену залежність між параметром F_m і температурою повітря та ґрунту в групі W1, обернену залежність між параметрами F_m і F_i та кислотністю. Виявлено залежність між параметром F_{st} і температурою повітря (обернена) та вологістю повітря (додатна) в групі W3. Залежності між параметрами флуоресценції та оточуючого середовища для даних, отриманих в групі W2, не виявлено.

Таким чином, досліджено і доведено вплив метеопараметрів довкілля на індукцію флуоресценції, а саме: температури ґрунту і повітря, вологості ґрунту і повітря, сонячної радіації тощо. Ці параметри є важливими впливовими чинниками при застосуванні біосенсорів у системах довготривалого екологічного моніторингу, які треба враховувати при аналізі даних.

Доведено, що під час довготривалого моніторингу стану довкілля за допомогою бездротового інтелектуального біосенсора потрібно враховувати кореляцію параметрів флуоресценції хлорофілу з метеопараметрами.

2.2 Побудова моделі індукції флуоресценції хлорофілу

Одним із шляхів подальшого аналізу кривих ІФХ є представлення отриманої кривої за допомогою математичного рівняння [117, 118]. На даному етапі в якості математичного апарату обрано регресійний аналіз.

Рівняння регресії змінної Y (в нашому випадку кривої ІФХ) від деякої змінної (фактору) X має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon,$$

де β_i – параметри моделі, ε – похибка.

Рівняння – це модель, яка постулюється. Вважаємо, що вона встановлена. На наступних кроках необхідно перевірити, чи відповідає вона реальності.

Оцінки значень параметрів в рівнянні мають вигляд:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_n X_n + \varepsilon,$$

де b_i – оцінка параметра моделі, \hat{Y} – прогнозоване значення для даних X_1, \dots, X_n , у випадку, коли b_i визначені.

В якості процедури оцінювання параметрів використовується метод найменших квадратів (МНК). Для перевірки статистичної значущості різниці між середніми використано дисперсійний аналіз та узагальнену таблицю дисперсійного аналізу (ANOVA, Analysis of Variance), яка містить наступні елементи:

- 1) SSE (Sum of Squares for Error) – залишкова сума квадратів залишків
- 2) SSM (Sum of Squares for Model) – регресійна сума квадратів
- 3) SST (Sum of Squares Total) – сума квадратів відносно середнього
- 4) MSE (Mean of Squares for Error) – середньоквадратична помилка (квадрат дисперсії)
- 5) $S_{\hat{Y}}$ – стандартна похибка для оцінки \hat{Y}
- 6) R^2 – коефіцієнт детермінації
- 7) F -критерій значущості регресії

8) DFE (Degrees of Freedom Total) – ступінь свободи

Фактори, які використовуються в регресійних задачах, можуть приймати значення з певного неперервного інтервалу. Існує можливість приписати цим факторам деякі рівні по порядку. Змінні такого типу називають фіктивними змінними. У більшості випадків вони не пов'язані з фізичними рівнями, які можуть існувати у факторів самі по собі.

Одним із варіантів представлення є матриця Вандермонда, спрощеним варіантом є наступний випадок матриці незалежних змінних X :

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1^2 & \dots & 1^k \\ 1 & 2 & 2^2 & \dots & 2^k \\ 1 & 3 & 3^2 & \dots & 3^k \\ 1 & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & n-1 & (n-1)^2 & \dots & (n-1)^k \\ 1 & n & n^2 & \dots & n^k \end{pmatrix},$$

де k – найвища степінь.

2.2.1 Обґрунтування вибору моделі

Розглянемо особливості вимірювання ІФХ за допомогою приладу «Флоратест». Прилад вимірює ІФХ в залежності від часу t , тому можна записати, що:

$$iph = f(t).$$

Відповідно до [119]:

$$t = \tau^8,$$

де τ – нелінійний час. Відповідно:

$$iph = f(\tau^8)$$

Тип регресійної моделі визначено в результаті аналізу моделей різного типу [117]. В якості вектору X обрано реальний час вимірювання відповідно до інструкції до приладу «Флоратест» та фіктивні змінні T , $n=90$. В якості тестової кривої обрано криву індукції флуоресценції хлорофілу отриману під час дослідження над рослиною огірки (див. Додаток Д). Розрахунок виконано в MS

Excel за допомогою вбудованої функції ЛИНЕЙН. В таблиці введено позначення: s_i – стандартна похибка для оцінки i -го коефіцієнта, t_i – розрахований коефіцієнт Стьюдента. Критичні значення F та t -статистик для $\alpha=0.05$ $F(1.88, 0.95)=3.96$ та $t(88, 0.975)=1.662$ відповідно.

Регресійна модель з оберненим перетворенням відносно предиктора (№ 1) має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1(1/X) + \varepsilon$$

Таблиця 2.9 – Результати обчислень параметрів моделі

<i>i</i>	1	0
b_i	-2,152	1697,853
s_i	0,389	61,625
t_i	5,535	27,552
R^2	0,258	
$S_{\hat{y}}$	558,846	
F	30,635	
DFE	88	
SSM	9567444,7	
SSE	27483211	

Перевірка показала, що модель значуща. Всі параметри включені у модель.

Регресійна модель з логарифмічним перетворенням відносно предиктора (№ 2) має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \varepsilon$$

Таблиця 2.10 – Результати обчислень параметрів моделі

<i>i</i>	1	0
b_i	56,749	1568,826
s_i	19,678	66,139
t_i	2,884	23,72
R^2	0,086	
$S_{\hat{y}}$	620,221	
F	8,317	
DFE	88	
SSM	3199367,4	
SSE	33851288	

Перевірка показала, що модель значуща. Всі параметри включені у модель.

Регресійна модель з перетворенням типу квадратного кореня відносно предиктора (№ 3) має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X^{1/2} + \varepsilon$$

Вихідні дані наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.11 – Результати обчислень параметрів моделі

<i>i</i>	1	0
<i>b_i</i>	-45,934	1748,729
<i>s_i</i>	18,57	90,013
<i>t_i</i>	2,474	19,428
<i>R²</i>	0,065	
<i>S_ŷ</i>	627,422	
<i>F</i>	6,119	
<i>DFE</i>	88	
<i>SSM</i>	2408759,7	
<i>SSE</i>	34641896	

Перевірка показала, що модель значуща. Всі параметри включені у модель.

Регресійна обернена модель має вигляд (№ 4):

$$Y = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon}$$

Логарифмування по основі *e* призводить до наступної форми :

$$\frac{1}{Y} = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Таблиця 2.12 – Результати обчислень параметрів моделі

<i>i</i>	1	0
<i>b_i</i>	-3,713E-07	0,00098
<i>s_i</i>	2,366	107,26
<i>t_i</i>	1,569E-07	9,119E-06
<i>R²</i>	0,779	
<i>S_ŷ</i>	870,225	
<i>F</i>	38,089	
<i>DFE</i>	88	
<i>SSM</i>	28844205	
<i>SSE</i>	66641677	

Перевірка показала, що обидва параметри статистично незначущі і мають бути виключені з моделі.

При побудові даної та наступних трьох моделей спочатку необхідно виконати перетворення відносно змінної X . Розглянемо на прикладі побудови мультиплікативної моделі (№ 5):

Модель:

$$Y = \beta_0 X^{\beta_1} \varepsilon$$

Логарифмування по основі e призводить до наступної форми :

$$\ln Y = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln X + \ln \varepsilon$$

Позначимо прологарифмовані величини Y' , β'_0 , X' та ε' відповідно.

$$Y' = \beta'_0 + \beta_1 X' + \varepsilon'$$

Таблиця 2.13 – Результати обчислень параметрів моделі

i	1	0
b_i	0,064	1379,289
s_i	1,824	82,698
t_i	0,035	16,679
R^2	0,258	
$S_{\hat{Y}}$	670,95	
F	21,257	
DFE	88	
SSM	9569261,6	
SSE	39615296	

Перевірка показала, що модель значуща, але параметр b_1 статистично незначущий і має бути виключеним з моделі.

Регресійна експоненціальна модель має вигляд (№ 6):

$$Y = e^{\beta_0 + \beta_1 X} \cdot \varepsilon$$

Логарифмування по основі e призводить до наступної форми :

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 X + \ln \varepsilon$$

Таблиця 2.14 – Результати обчислень параметрів моделі

i	1	0
b_i	-0,004	7,356
s_i	1,682	76,24
t_i	0,002	0,096
R^2	0,15	
$S_{\hat{Y}}$	618,556	
F	14,561	
DFE	88	
SSM	5571218,8	
SSE	33669802	

Перевірка показала, що обидва параметри статистично незначущі і мають бути виключені з моделі.

Регресійна експоненціальна модель має вигляд (№ 7):

$$Y = \frac{1}{a + e^{\beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon}}$$

Логарифмування по основі e призводить до наступної форми :

$$\ln\left(\frac{1}{Y} - a\right) = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Для даного прикладу $\min(1/y_i) = 0.8532$, $i=1, \dots, 90$, тому обрано значення $a=0.85$.

Таблиця 2.15 – Результати обчислень параметрів моделі

<i>i</i>	1	0
b_i	0,017	-9,285
s_i	1,743	79,01
t_i	0,01	0,118
R^2	0,459	
$S_{\hat{y}}$	641,024	
F	41,349	
DFE	88	
SSM	16990980	
SSE	36160275	

Перевірка показала, що обидва параметри статистично незначущі і мають бути виключені з моделі.

Поліноміальна модель відносно часу має вигляд (№ 8).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3 + \beta_4 X^4 + \beta_5 X^5 + \beta_6 X^6 + \beta_7 X^7 + \beta_8 X^8 + \varepsilon$$

Таблиця 2.16 – Результати обчислень параметрів моделі

<i>i</i>	8	7	6	5	4	3	2	1	0
b_i	-2,43E-11	1,59E-08	-4,24E-06	0,0006	-0,0475	2,117	-48,73	451,286	1285,716
s_i	6,45E-12	3,94E-09	9,74E-07	0,0001	0,0089	0,342	6,471	47,45	65,948
t_i	3,769	4,028	4,354	4,778	5,356	6,199	7,531	9,511	19,496
R^2	0,673								
$S_{\hat{y}}$	386,874								
F	20,818								
DFE	81								
SSM	24927253,08								
SSE	12123402,21								

Перевірка показала, що модель значуща. Всі параметри включені у модель.

Поліноміальна модель відносно фіктивних змінних має вигляд (№ 8).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 T^2 + \beta_3 T^3 + \beta_4 T^4 + \beta_5 T^5 + \beta_6 T^6 + \beta_7 T^7 + \beta_8 T^8 + \varepsilon$$

де T – вектор довжиною n зі значеннями від 1 до n , $n=90$.

В якості фіктивних змінних використані змінні, які мають максимальну степінь рівну 8 ($k=8$, $n=90$):

$$\det(X'X) = 1,787 \cdot 10^{116} \neq 0$$

Визначник матриці не рівний нулю, отже, фіктивні змінні можна використовувати при побудові моделі.

Таблиця 2.17 – Результати обчислень параметрів моделі

i	8	7	6	5	4	3	2	1	0
b_i	-2,042E-10	7,834E-08	-1,259E-05	1,099E-03	-0,056	1,601	-23,846	207,004	39,399
s_i	5,474E-11	1,996E-08	2,992E-06	2,377E-04	0,011	0,277	3,803	24,12	50,106
t_i	3,731	3,924	4,208	4,622	5,184	5,792	6,27	8,582	0,786
R^2	0,996								
$S_{\hat{y}}$	41,597								
F	2666,505								
DFE	81								
SSM	36910502,23								
SSE	140153,059								

Перевірка показала, що модель значуща. Параметр b_0 статистично незначущий.

В табл. 2.18 наведені розраховані оцінки для моделей №1-9.

Таблиця 2.18 – Порівняння оцінок для побудованих моделей

Модель \ Оцінка	Модель № 1	Модель № 2	Модель № 3	Модель № 5	Модель № 6	Модель № 7	Модель № 8	Модель № 9
R^2	0,258	0,086	0,065	0,258	0,15	0,459	0,673	0,996
$S_{\hat{y}}$	558,846	620,221	627,422	670,95	618,556	641,024	386,874	41,597
F	30,635	8,317	6,119	21,257	14,561	41,349	20,818	2666,505
SSM	9567445	3199367	2408760	9569262	5571219	16990980	24927253	36910502
SSE	27483211	33851288	34641896	39615296	33669802	36160275	12123402	140153,1

З табл. 2.8 видно, що стандартна похибка прогнозованого значення \hat{Y} є найменшою у моделі № 9. Значення залишкової суми квадратів є найменшим

у моделі № 9. Слід зазначити, що значення відрізняється від інших на 2 порядки. Значення коефіцієнту кореляції є найбільшим (0,99 або 99 %) у моделі № 9, що свідчить про високу якість моделі.

Модель № 9 за двома критеріями є найкращою моделлю з представлених для оцінки кривої ІФХ і саме її будемо досліджувати в подальшому. Стандартна похибка прогнозованого значення і значення залишкової суми квадратів є найменшими, а значення коефіцієнту детермінації є найбільшим (0,99 або 99 %) для поліноміальної моделі [105].

На рис. 2.16 представлені всі моделі. На рис. 2.17 представлена крива ІФХ і модель № 10.

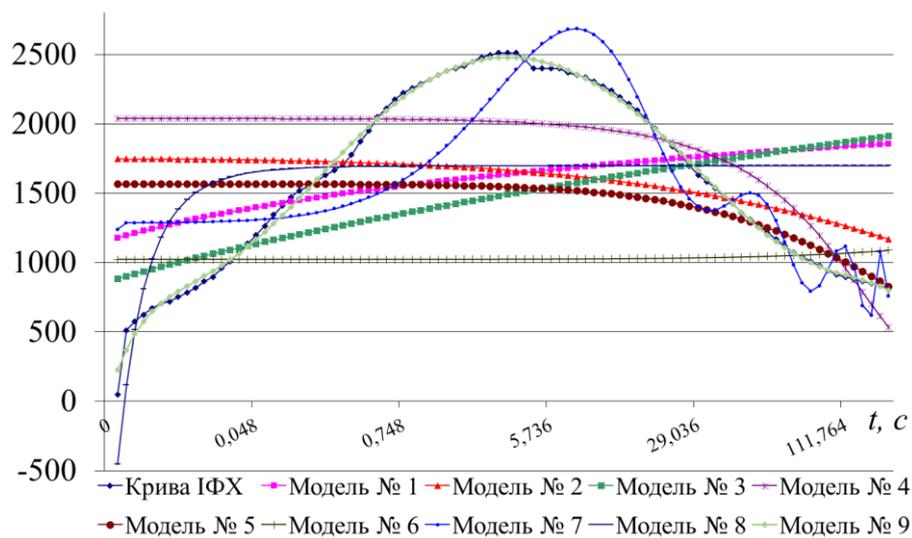


Рисунок 2.16 – Крива ІФХ і всі побудовані моделі

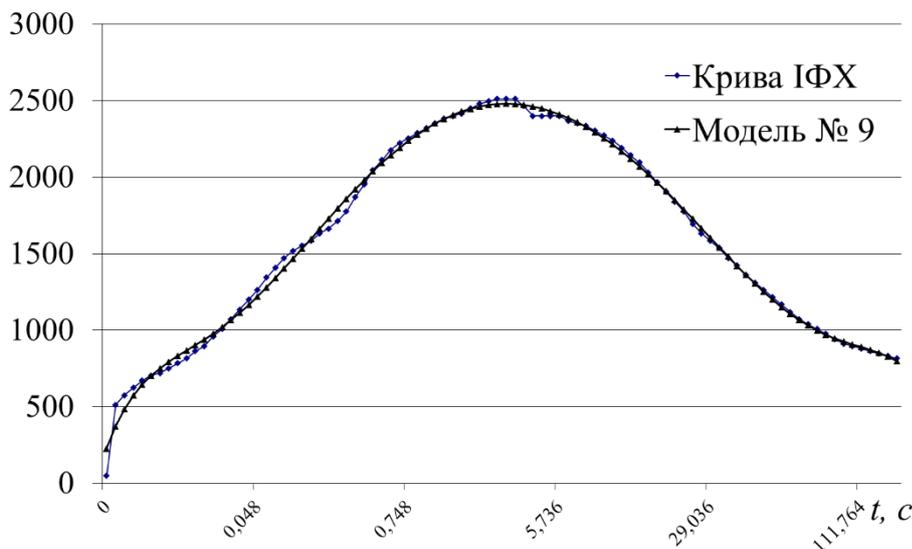


Рисунок 2.17 – Крива ІФХ і побудована модель № 9

Таким чином, обрано тип моделі, яка буде використовуватися в подальшому при побудові моделі індукції флуоресценції хлорофілу.

2.2.2 Побудова моделі індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою методу крокової регресії

До основних методів побудови регресійних моделей [117, 118] відносяться: метод всіх можливих регресій, метод вибору «найкращої підмножини» предикторів, метод виключення, метод крокової регресії, гребнева регресія тощо. Найкращим в теоретичному відношенні є метод всіх можливих регресій, оскільки дозволяє розглядати всі можливі випадки, однак на практиці рекомендовано використовувати метод крокової регресії [117].

Під час виконання методу крокової регресії відбувається включення змінних по черзі в рівняння доти, доки рівняння не стане задовільним. Порядок включення визначається за допомогою часткового коефіцієнта кореляції, як міри значущості змінних, ще не включених в рівняння, завершення алгоритму визначається за допомогою F -статистики:

$$F_{k_1, k_2} = \frac{k_2 \cdot (SSE - SSE')}{k_1 \cdot SSE'}$$

де k_2 – ступінь свободи для складної моделі, k_1 – кількість введених параметрів у нову модель, SSE – сума залишків для простої моделі, SSE' – сума залишків для ускладненої моделі. Виконується перевірка умови: якщо $F_{k_1, k_2} > F(\alpha, k_1, k_2)$, то подальше ускладнення моделі є доцільним.

Розроблена блок-схема алгоритму наведена на рис. 2.18.

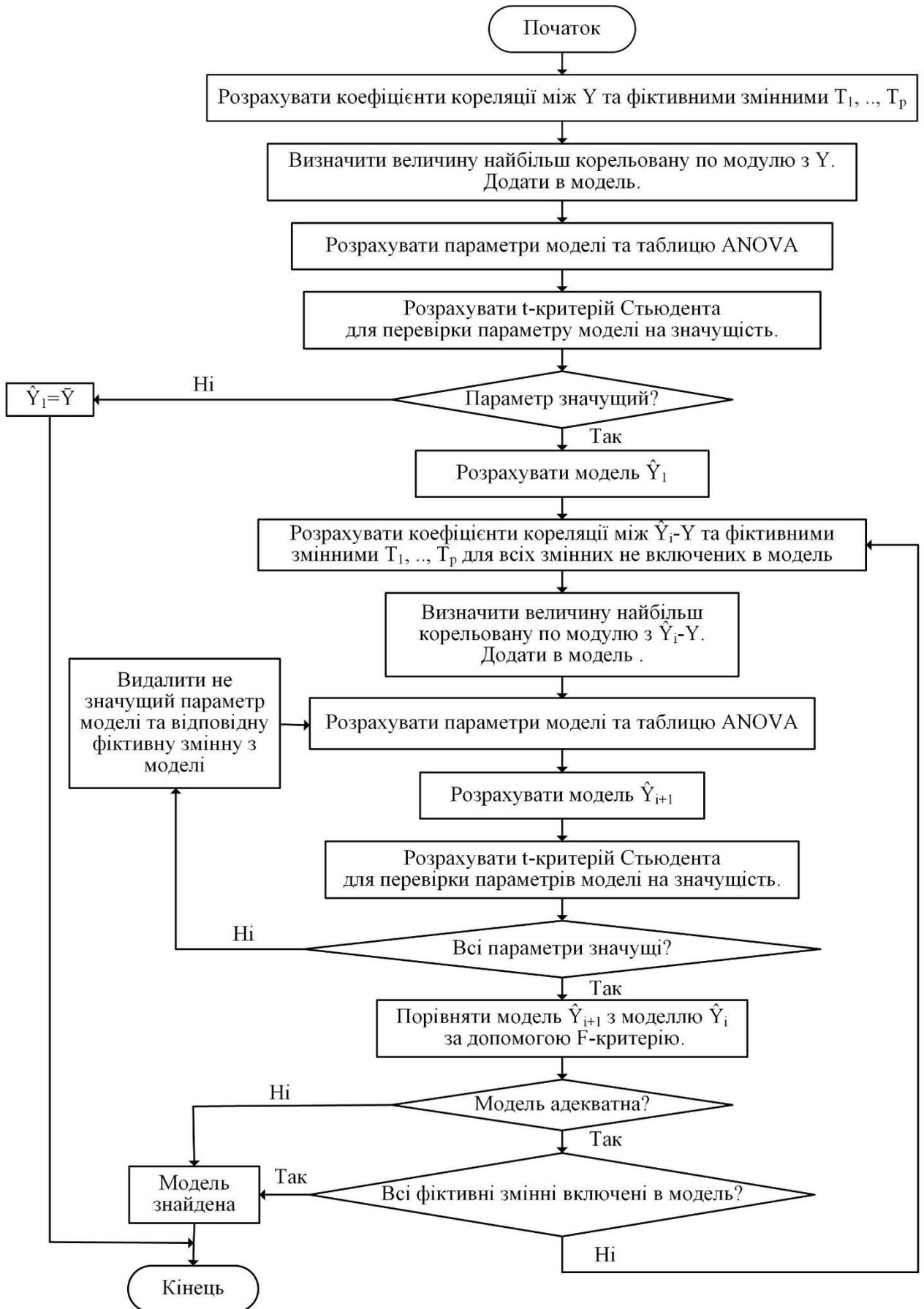


Рисунок 2.18 – Блок-схема алгоритму крокової регресії

2.2.3 Програмний засіб для аналізу кривих ІФХ

2.2.3.1 Опис програмного засобу

Розроблена комп'ютерна програма "Програмний засіб для аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу "CFiAnalyzer"" [120] (див. Додаток Ж) призначена для аналізу кривих індукції флуоресценції (час вимірювання ІФХ – 5 хв.). Програма дозволяє об'єднувати криві ІФХ, розміщені в окремих файлах в форматі *.csv в один файл MS Office Excel з розширенням *.xlsx, зчитувати криві ІФХ, які збережені в *.xlsx файлах без обмеження на кількість файлів та кількість книг в них, переглядати криві ІФХ, розраховувати значення середньої кривої ІФХ, розраховувати параметри флуоресценції. Додатково програма дозволяє побудувати модель ІФХ за допомогою методу крокової регресії. Всі ці функції дозволяють суттєво зменшити час на обробку кривих ІФХ, які отримані під час експериментів.

Головне вікно програми (рис. 2.19) містить зліва область для роботи з кривими ІФХ, справа поле для графіків.

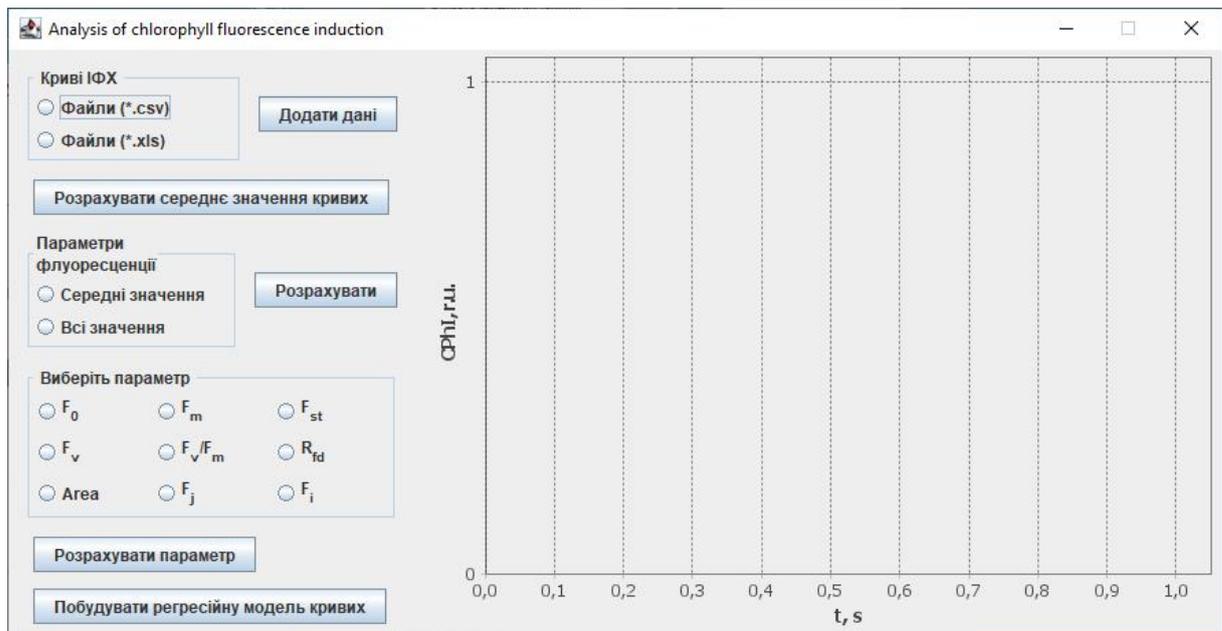


Рисунок 2.19 – Головне вікно програмного засобу

Область графіків (рис. 2.20) дозволяє копіювати графік в буфер обміну, зберегти графік окремим файлом з розширенням png, svg та pdf, роздрукувати графік, змінити колір фону графіка, змінити колір фону легенди графіка, очистити область графіків та видалити показані криві ІФХ.

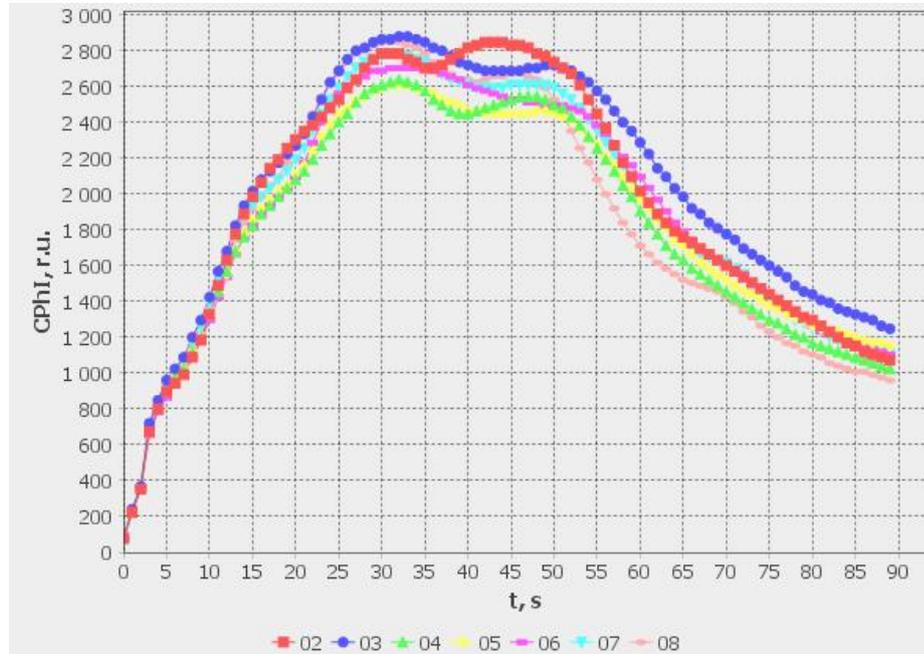


Рисунок 2.20 – Графік кривих ІФХ

Розрахунок одного з параметрів флуоресценції є зручним інструментом для аналізу даних дослідів. На рис. 2.21 наведено приклад розрахунку параметру F_m в чотирьох дослідних групах.

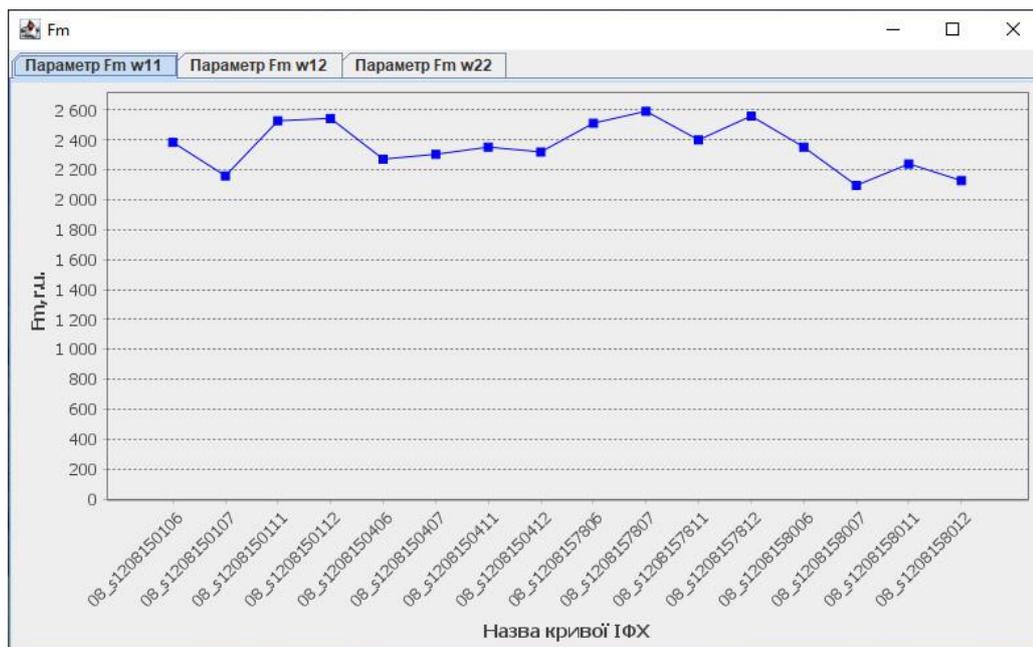


Рисунок 2.21 – Вікно з графіком обраного параметру (F_m)

Діалогове вікно регресійного аналізу наведено на рис. 2.22. Приклад побудови моделей наведено на рис. 2.23, графіки побудовані в MS Office Excel.

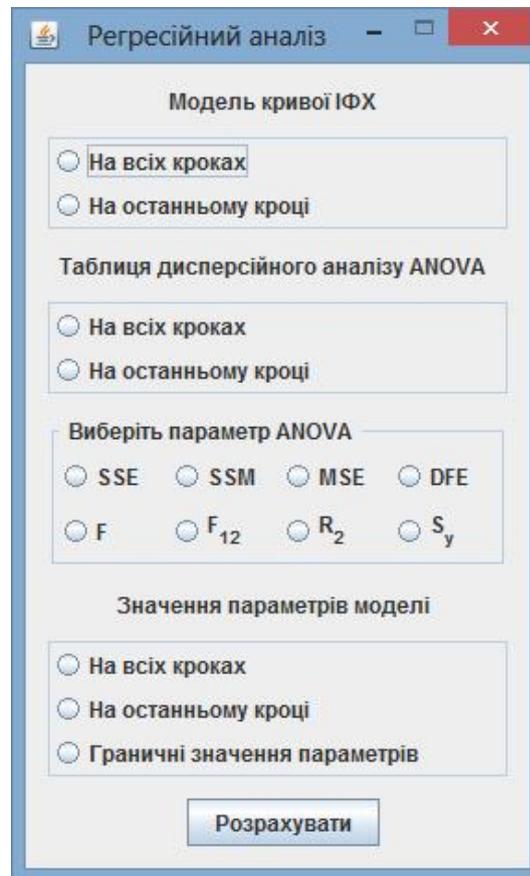


Рисунок 2.22 – Вікно регресійного аналізу

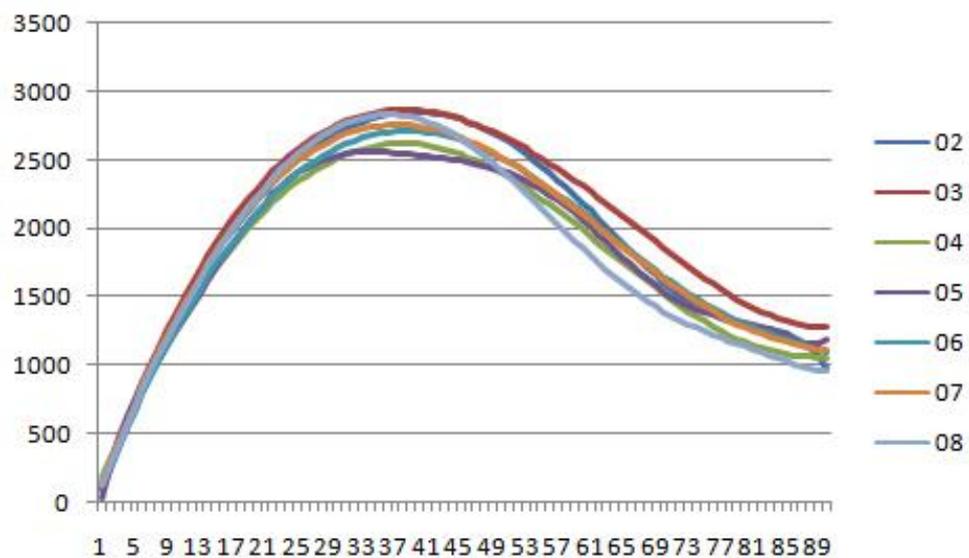


Рисунок 2.23 – Моделі ІФХ

Приклад розрахунку таблиці дисперсійного аналізу для моделей кривих ІФХ показано на рис. 2.24.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	120615	02	03	04	05	06	07	08
2	R2	0,989462	0,973586	0,758969	0,993167	0,761912	0,99064	0,989902
3	Sy	74,91915	113,0753	320,7328	51,93975	329,3162	66,34214	74,1568
4	F	1652,524	810,8855	92,36589	1598,801	93,87061	2328,422	1437,779
5	DFE	84	85	86	81	86	85	83
6	SSM	46377095	41471990	28504913	34505157	30540560	40992141	47440067
7	SSE	493933,4	1125170	9052520	237400,9	9543524	387312,6	483932,4
8	MSE	5612,879	12786,02	102869,5	2697,738	108449,1	4401,28	5499,231
9	F12	4,973759	91,94558	106,3204	2,537214	101,3957	2263,773	4,875879
10								

Рисунок 2.24 – Приклад розрахунку таблиці дисперсійного аналізу ANOVA

Отже, отримано інструмент, який дозволяє замінити значення ІФХ на рівняння.

2.2.3.2 Тестування роботи програмного засобу

Тип тестування – це сукупність активностей тестування, спрямованих на тестування заданих характеристик системи або її частини, ґрунтуючись на конкретних цілях [121]. До таких цілей відносять:

- оцінка функціональних характеристик якості системи, таких як повнота, коректність, доцільність;
- оцінка нефункціональних характеристик якості, таких як надійність, продуктивність роботи, безпека, сумісність та зручність використання;
- оцінка правильності, повноти структури чи архітектури компонента чи системи, їх відповідність специфікації;
- оцінка впливу змін, наприклад, підтвердження того, що дефекти були виправлені та пошук ненавмисних змін у поведінці, викликаних змінами у програмному забезпеченні або оточенні (регресійне тестування).

В даному пункті та в подальшому розглядається лише функціональне тестування, яке включає тести щодо оцінки функцій, які має виконувати система.

Елементи функціонального тестування [122]:

- підготовка тестових даних виходячи з описаної документації;
- бізнес-вимоги, як частина функціонального тестування;
- отримання результатів на основі специфікації;
- проходження тест-кейсів;
- аналіз фактичних та очікуваних результатів.

Роботу програмного засобу перевірено в 2 етапи. На першому етапі для розраховано значення коефіцієнту детермінації R^2 , яке знаходиться в межах від 0 до 1 включно, тобто значення більше або рівне 1 є сигналом наявності помилки в алгоритмі. Для отримання більшої кількості даних створено версію програмного засобу, який дозволяє обирати кількість фіктивних змінних при побудові моделі, для тестування обрано кількість від 6 до 100 включно. Таким чином вдалося знайти більшість помилок в алгоритмі, які виникли в процесі розробки. В якості тестових даних обрано 104 криві ІФХ, які отримані 19.09.14 в перший день експерименту над рослиною Дурман.

На другому етапі обрано тестову криву для якої виконано розрахунок параметрів в програмному засобі Microsoft Excel за допомогою вбудованих функцій і виконано порівняння з розрахунком програми. Значення параметрів співпали з точністю до 10-го знаку.

Для визначення кількості фіктивних змінних та оцінки мінімального числа, яке необхідно для побудови моделей проведено побудову моделей для 4856 кривих ІФХ, які отримано під час спільних експериментів в період з 2012 по 2016 рік. Для побудови кожної моделі кривої використано різне число фіктивних змінних. Мінімальна кількість – 4, максимальна кількість – 100. Тобто побудовано 471032 моделей, зафіксовано ступінь полінома для кожної моделі та просумовано в залежності від ступеня. Найбільша кількість – 105349

та 101398 моделей 6-го та 7-го ступенів (рис. 2.25). Тому для побудови моделей обрано кількість фіктивних змінних рівною 8.

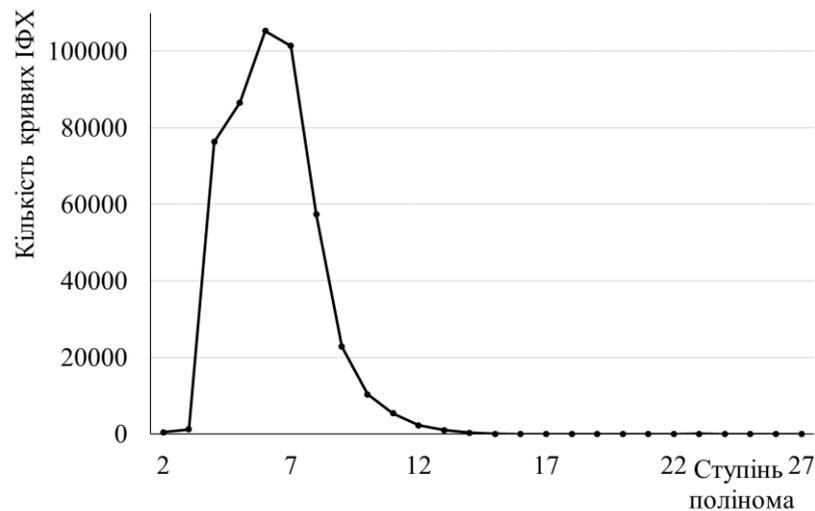


Рисунок 2.25 – Кількість кривих ІФХ з різним ступенем полінома

2.2.4 Результати побудови моделей

Побудова моделі для результатів вимірювання ІФХ за дослідом над рослиною огірки. Розглянемо результати побудови моделей для значень ІФХ, які отримано в досліді над рослиною огірки (табл. 2.1, п. 3). Група w3 – контрольна група, w1, w2 – дослідні групи. На рис. 2.26-2.28 наведено криві ІФХ в останній день експерименту та отримані моделі.

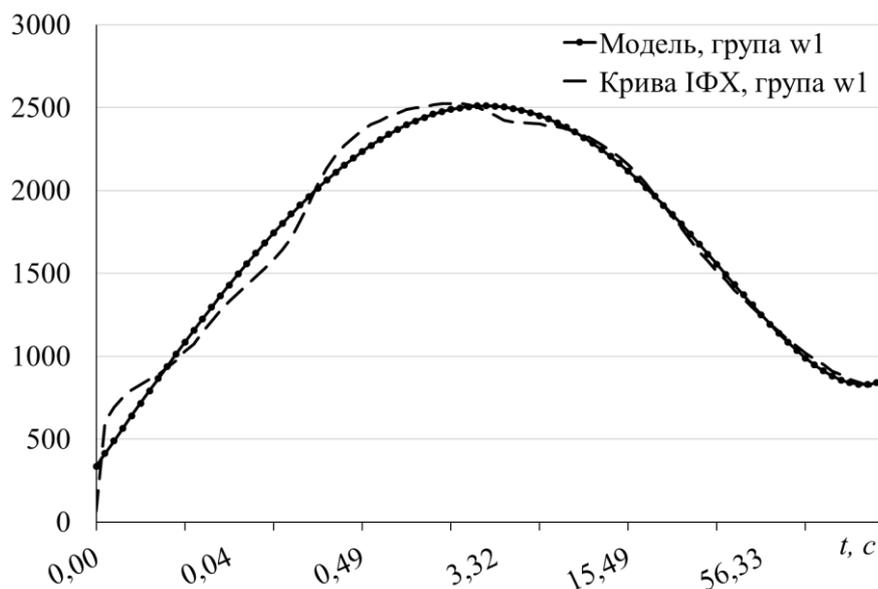


Рисунок 2.26 – Виміряне значення ІФХ і побудована модель (група w1)

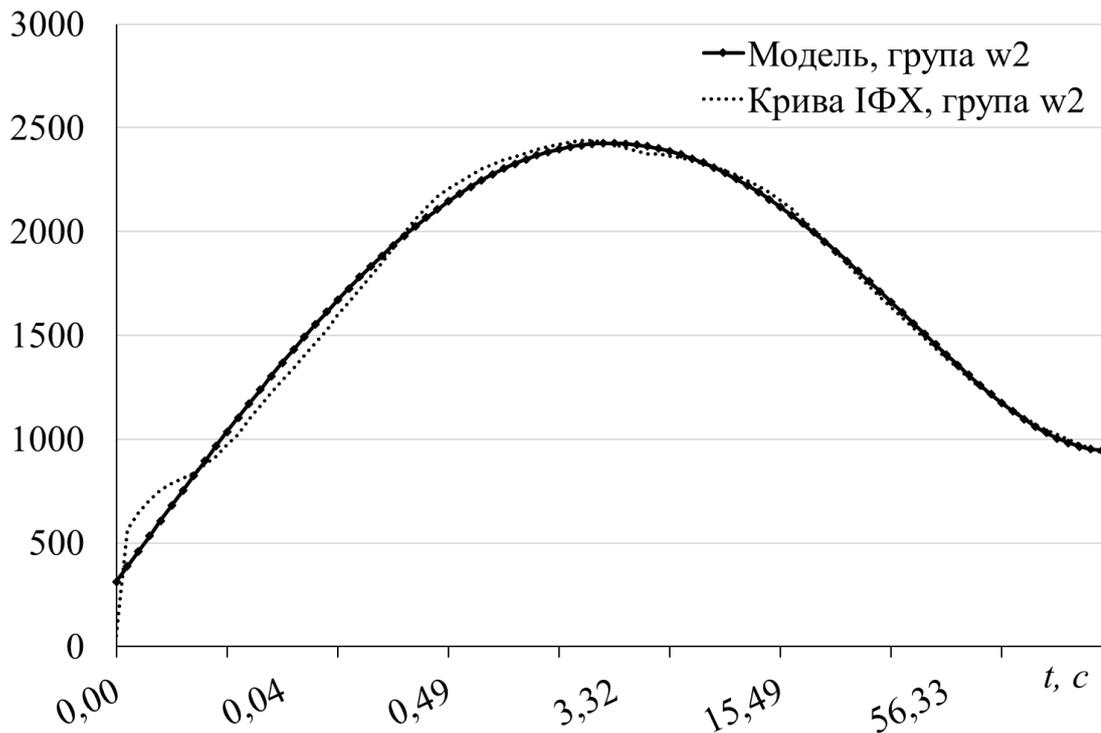


Рисунок 2.27 – Вимірні значення ІФХ і побудована модель (група w2)

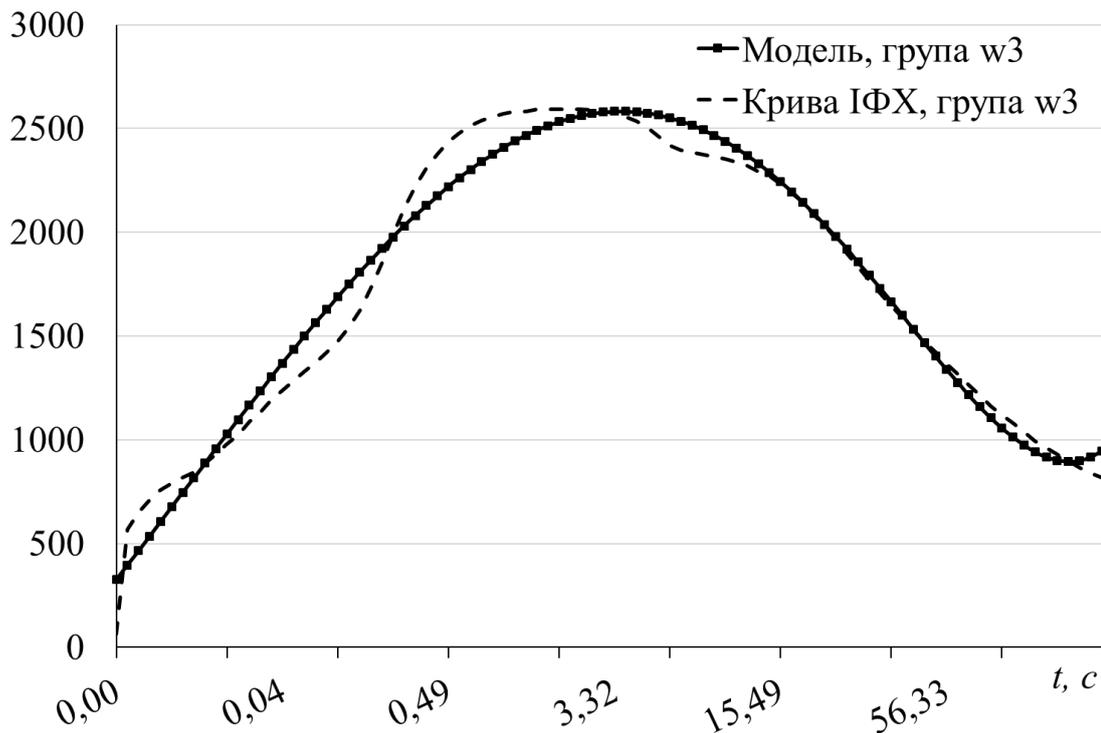


Рисунок 2.28 – Вимірні значення ІФХ і побудована модель (група w3)

В табл. 2.19 наведено результати дисперсійного аналізу, в табл. 2.20 – параметри моделі. У Додатку II наведено результати розрахунку параметрів моделей ІФХ та таблиці дисперсійного аналізу для всього дослідження.

Таблиця 2.19 – Таблиця дисперсійного аналізу (ANOVA)

ANOVA	Група W1	Група W2	Група W3
R^2	0,98	0,99	0,97
$S_{\hat{y}}$	85,97	62,18	113,56
F	1268,65	2760,46	778,07
DFE	85	86	85
SSM	37503760	32019614	40133651
SSE	628190,62	332515,22	1096097,1
MSE	7390,48	3866,46	12895,26

Всі параметри моделей значущі. Значення коефіцієнтів детермінації наближається до одиниці, що свідчить про високу якість моделі.

Таблиця 2.20 – Параметри моделі

Група W1				
b_i	259,653	4,32E-13	76,573	
s_i	32,74217	2,42E-13	2,02958	
Група W2				
b_i	239,08	73,968	-0,0132	6,84E-09
s_i	20,89591	1,021691	0,000263	2,69E-10
Група W3				
b_i	257,038	7,47E-13	68,467	
s_i	56,88388	7,85E-14	6,817007	

Рівняння мають вигляд:

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

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

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

Таким чином побудовано модель індукції флуоресценції хлорофілу для дослідів над рослиною соя.

Побудова моделі для результатів вимірювання ІФХ за дослідом над рослиною солодкого перцю. Розглянемо результати побудови моделей для значень ІФХ, які отримано в досліді над рослиною солодкого перцю

(див. п. 2.1.4). Результати розрахунку таблиці дисперсійного аналізу наведено в табл. 2.21, параметри моделей та значення похибки – в табл. 2.22.

Таблиця 2.21 – Таблиця дисперсійного аналізу (ANOVA)

ANOVA	V1	V2	V3
R^2	0,9924	0,9929	0,9906
$S_{\hat{y}}$	59,94	58,94	70,28
F	1803,57	1932,05	2245,56
DFE	83	83	85
SSM	38884605	40273603	44362939
SSE	298243,7	288356,5	419812
MSE	3593,30	3474,17	4938,96

Таблиця 2.22 – Параметри моделі

V1							
b_i	-86,853	5,004E-07	159,581	-2,940	1,413E-03	-4,231E-05	-2E-09
s_i	41,931	1,655E-07	8,765	0,460	5,646E-04	1,557E-05	6,3E-10
V2							
b_i	-121,688	2,253E-05	183,668	-5,553	0,144	-5,324E-10	-0,0028
s_i	48,683	5,801E-06	13,803	1,229	0,047	1,227E-10	0,00082
V3							
b_i	-10,774	167,185	-4,817E-12	-2,442	5,549E-10		
s_i	29,717	2,503	3,229E-13	0,045	3,196E-11		

Всі параметри моделей значущі. Значення коефіцієнтів детермінації наближається до одиниці, що свідчить про високу якість моделі. Стандартна похибка моделі для оцінювання кривої, отриманої на товстій центральній жилці, є найбільшою.

Рівняння мають вигляд:

$$Y_{V3} = -10,7744 + 167,1849 * t - 4,8E-12 * t^8 - 2,44153 * t^2 + 5,55E-10 * t^7$$

$$Y_{V1} = -86,85 + 5E-07 * t^6 + 159,58 * t - 2,94 * t^2 + 0,0014 * t^4 - 4,2E-05 * t^5 - 2,1E-09 * t^7$$

$$Y_{V2} = -121,69 + 2,25E-05 * t^5 + 183,67 * t - 5,55 * t^2 + 0,144 * t^3 - 5,3E-10 * t^7 - 0,0028 * t^4$$

Моделі індукції флуоресценції хлорофілу наведено на рис.2.29.

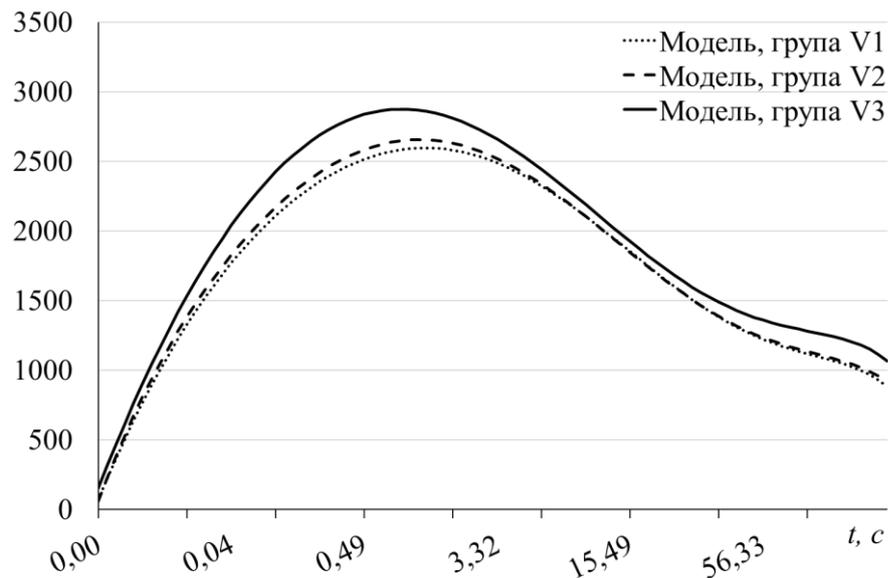


Рисунок 2.29 – Моделі індукції флуоресценції, які отримано для всіх дослідних груп

Розглянемо індукцію флуоресценції хлорофілу та модель для контрольної групи V1, де вимірювання проводилося на місці без жилки (рис. 2.30).

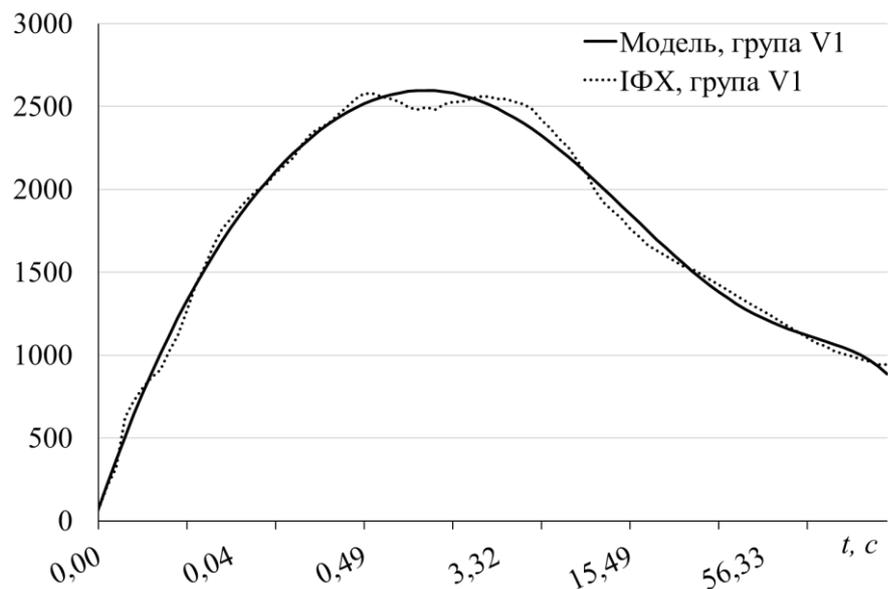


Рисунок 2.30 – Моделі індукції флуоресценції, які отримано для всіх дослідних груп

Як видно з графіка модель не враховує наявності другого максимуму на графіку. Про це також свідчить значення коефіцієнта детермінації, яке нижче, ніж значення отримане в досліді над рослиною сої: 0,9924 порівно з 0,97 в контрольній групі.

Таким чином побудовано моделі індукції флуоресценції хлорофілу для проведених дослідів. Встановлено, що модель можна побудувати з високою точністю, про що свідчать параметри дисперсійного аналізу.

2.3 Методичне забезпечення для діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу на тестових культурах під впливом дії важких металів

На основі результатів аналізу кривих ІФХ різними методами розроблено удосконалену до [123] методику проведення досліджень рослин методом ІФХ. Проведення досліджень за допомогою дослідних зразків біосенсору на тестових культурах складається з декількох етапів.

Етап 1. Попередня підготовка

1. Сформулювати робочу гіпотезу. *Наприклад*: Визначити, чи існують кількісні та якісні відмінності між кривими ІФХ, отриманими на контрольній та експериментальній групах рослин під дією важкого металу.

2. Визначити вид тестових культур дослідних рослин, які будуть досліджуватися, зазначаючи латинську назву. З'ясувати нормальні умови росту та розвитку обраної рослини. Види рослин, які використовуються в дослідженнях, повинні відповідати наступним вимогам: бути характерними для природної зони, де розташовується даний об'єкт; рослини-індикатори повинні бути розташовані на всій території; повинні мати чітко виражену кількісну і якісну реакцію на відхилення властивостей середовища життя від екологічної норми; біологія даних видів-індикаторів повинна бути добре вивчена. Перелік рослин, які можуть служити індикаторами впливу важких металів на оточуюче середовище (табл. 2.21) [124–126].

Наприклад, виберемо рослину Соя (*Glycine max*).

3. Визначити чинник оточуючого середовища, вплив якого на рослину буде досліджуватися, реакції рослин на важкі метали [127] наведені в табл. 2.22.

Наприклад, оберемо мідь, яка буде вноситися у вигляді сульфату міді.

Таблиця 2.21 – Рослини індикатори

Тип	Рослина
деревні породи	сосна звичайна, ялина, береза, липа, дуб, тополя
види трав'янисто-чагарникового ярусу	брусниця, чорниця, багно
види чагарникового ярусу	верба, шипшина, карликова береза
види трав'янистих рослин	складноцвітові (Asteraceae), розові (Rosaceae), губоцвіті (Lamiaceae), шавлія степова (Salvia stepposa), вероніка сива (Veronica incana), V. spicata, полин звичайний (Artemisia austriaca), A. Marschalliana, тютюн BEL W, красоля, кульбаба лікарська (Taraxacum officinale), гладіолус (Gladiolus sp.), соняшник звичайний (Helianthus annuus), шпинат (Spinacea oleracea), горох (Pisum sativum), квасоля (Phaseolus vulgaris), соя (Glycine max), лобода (Chenopodium album), Melilotus officinalis

Таблиця 2.22 – Ознаки надлишкового вмісту елементів в ґрунті

Елемент	Реакція рослини, яка спостерігається візуально
Цинк	Знебарвлення і відмирання тканин листа, пожовтіння молодого листа, відмирання бруньок, забарвлення жилок в червоний або чорний колір. Перші ознаки з'являються на молодих рослинах.
Мідь	Хлороз молодого листа. При цьому жилки залишаються зеленими. Гальмується розвиток, на листках з'являються бурі плями і листки відмирають.
Марганець	З'являється хлороз між жилками, некроз тканин. Молоді листки викривляються та зморщуються.
Залізо	На молодому листі з'являється хлороз між жилками, які залишаються зеленими. Пізніше лист стає білуватим або жовтим.
Кобальт	Вздовж основних жилок листа з'являються заповнені водою прозорі ділянки. Відбувається некроз тканини. Пізніше листя набуває коричневе забарвлення та опадає.
Фосфор	Загальне пожовтіння листя дорослих рослин. Некроз тканин. У старого листя на кінці та по краях з'являються некротичні плями.
Магній	Листя злегка темніє та зменшуються. На останній стадії росту кінці листя втягуються та відмирають.
Калій	На ранніх стадіях спостерігається слабкий ріст рослин, світло зелене забарвлення листя. На останніх стадіях на листі з'являються сухі плями, листя в'яне та опадає.
Хлор	Загальне огрубіння рослин, листя дрібне, тьмяно-зелене. У деяких рослин на старому листі з'являються пурпурово-коричневі плями та листя опадає.
Азот	Місцеве ушкодження. На краях листя розвивається хлороз, який розповсюджується між жилками. Пізніше з'являється коричневий некроз, листя скручується та опадає.
Кальцій	З'являється хлороз між жилками з білуватими та некротичними плямами, які можуть бути забарвлені або заповнені водою. Інколи спостерігається зростання листових розеток, відмирання пагонів і опадання листя.
Бор	З'являється хлороз кінців та країв листя, який розповсюджується між жилками. Листя стає блідно-жовтим або білуватим. На краях листя спостерігаються опіки та некроз.

4. Визначити концентрації важкого металу, які будуть вноситися в ґрунт.

Рекомендовано вносити важкі метали у вигляді сірчаноокислих солей. При виборі концентрацій рекомендовано відштовхуватися від гранично допустимих концентрацій для даного металу. Наприклад, забруднення ґрунту можна моделювати внесенням кадмію, цинку та міддю у вигляді сірчаноокислих солей в дозах, що відповідають 5 та 15 граничнодопустимим концентраціям [127, 128] або в концентраціях 5, 10, 20 граничнодопустимих концентрацій (з розрахунку, що граничнодопустима концентрація для нікелю, міді, – 3,0; цинку – 23,0; свинцю – 20,0; кадмію – 4,0 мг/кг ґрунту) у вигляді водних розчинів CdSO_4 , CuSO_4 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, ZnSO_4 і $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

Наприклад, для моделювання надлишкового вмісту міді виберемо концентрацію сульфату міді – 6 г CuSO_4 / 1 кг ґрунту.

5. Визначити число варіантів в схемі досліду та кількість рослин в кожному з них.

Рекомендоване число варіантів – 3-4 групи, в кожній групі 3-5 горщиків, в кожному горщику 5-6 рослин. Обов'язково одну з груп визначити, як контрольну. Контрольна група – це група рослин відносно яких не виконується ніякого стороннього впливу. В подальшому дані отримані в експериментальних групах будуть порівнюватися з даними отриманими в контрольній групі. Таким чином можна сформувану схему експерименту (наприклад, табл. 2.23).

Таблиця 2.23 – Схема експерименту для моделювання надлишкового вмісту міді

Група	Тип впливу	Горщики, №
Група V1	Без впливу важкого металу, без поливу	1-3
Група V2	Контрольна – без внесення CuSO_4 , з поливом	4-6
Група V3	з впливом CuSO_4 , без поливу	7-9
Група V4	з впливом CuSO_4 , з поливом	10-12

Етап 2. Вирощування рослин

1. Висіяти насіння обраної рослини в ємність для розсади. Регулярно поливати.

2. Після появи всходів насіння пересадити їх в горщики достатнього розміру з ґрунтом однакового відомого складу. В кожному горщик висадити 5-6 рослин. Помістити горщики в вегетаційну камеру або на добре освітлене місце для подальшого росту. Регулярно поливати. Після появи 4-5 ярусів листя перейти до наступного етапу.

Етап 3. Проведення експерименту

Перед початком експерименту уважно прочитати настанову користувача. За день перед кожною серією вимірювань слід перевіряти рівень заряду приладу. Якщо прилад незаряджений – зарядити.

Провести першу серію вимірювань кривих ІФХ.

1. У випадку проведення досліду на відкритій ділянці, у сонячну погоду, рослини слід перенести у затінок або застосувати бавовняну світлонепроникну тканину з великим показником поверхневої щільності (тент) за 60 хв. до проведення досліду. Якщо рослини стоять на підвіконні перенести від вікна за 60 хв. до проведення серії вимірювання кривих індукції флуоресценції хлорофілу.

Важливою вимогою до процесу вимірювання флуоресценції хлорофілу є підтримання однакових умов вимірювання, оскільки різкі перепади температури впливають на результати вимірювань.

2. Зафіксувати кліпсу сенсора на листі рослини. При цьому слід враховувати ярус та розташування жилок на листі.

Для рослин в лабораторних умовах спостерігається відсутність значної відмінності індукції флуоресценції хлорофілу різних ярусів. Для розташування сенсору для вимірювання ІФХ рослин треба вибирати повністю сформовані листки та уникати альбіно-секторів.

Не рекомендується проводити вимірювання кривих індукції флуоресценції хлорофілу над товстою центральною жилкою. На невеликих рослинах, які мають розподілену систему тонких жилок, сенсори можна розміщати випадковим чином, оскільки товщина їх жилок не вплине на результати вимірювання кривих ІФХ.

3. Поставити таймер для проведення темної адаптації.

Якщо виконано перший пункт, то час темної адаптації може становити 5 хв. Якщо лист рослини знаходився під прямим сонячним освітленням перед вимірюванням, то час темної адаптації повинен бути не менше 20 хвилин.

4. Після темної адаптації здійснити вимірювання кривої ІФХ протягом 5 хв або необхідного часу.

5. У журналі експерименту зафіксувати час початку вимірювання, номер горщика, номер вимірювання в сенсорі, параметри оточуючого середовища. Рекомендовані параметри: температура повітря, вологість повітря, температура ґрунту, вологість ґрунту, кислотність ґрунту (табл. 2.24).

Таблиця 2.24 – Журнал експерименту

Дата вимірювання									
Назва рослини									
Номер експерименту									
Номер горщика	Група	Час вимірювання	Температура повітря, °С	Вологість повітря, %	Кислотність, pH	Вологість ґрунту, ум.од.	Температура ґрунту, °С	Номер кліпси	Коментар
								Номер вимірювання в сенсорі	

В табл. 2.25 наведено приклад заповнення журналу експерименту. Температура та вологість оточуючого середовища фіксувалися за допомогою метеостанції виробництва фірми "TFA"; температура ґрунту, вологість ґрунту,

значення кислотність ґрунту фіксувалися за допомогою пристрою "Діагностична система ґрунту 4 в 1".

Таблиця 2.25 – Приклад заповнення журналу експерименту

Назва рослини					Соя							
Дата вимірювання					05.08.2015							
Номер експерименту					03							
Номер рослини	Група	Час вимірювання	Температура повітря, °С	Вологість повітря, %	Кислотність, рН	Вологість ґрунту, рівень	Температура ґрунту, °С	01	02	03	04	
1	V1	14:22	25,3	28	4	wet+	25	11	11	11	11	
2	V1	14:33	25,4	28	4	nor	24	12	12	12	12	
3	V2	14:45	25,3	28	3,5	wet	25	13	13	13	13	
4	V2	14:54	25,3	28	3,5	wet	25	14	14	14	14	
5	V3	15:05	25,2	28	3,5	wet	25	15	15	15	15	
6	V3	15:14	25,1	28	Lo	wet+	25	16	16	16	16	
7	V4	15:26	25,2	28	Lo	wet+	26	17	17	17	17	
8	V4	15:35	25,0	28	Lo	wet	25	18	18	18	18	

6. Зберегти дані вимірювання.

7. Почати вимірювання на наступній рослині (перейти до п. 2).

8. Після закінчення вимірювань зберегти отримані криві ІФХ на стаціонарному або портативному комп'ютері.

Прилад "Флоратест" може містити до 40 кривих ІФХ. Під час передачі результатів вимірювання від приладу "Флоратест" на комп'ютер необхідно бути уважним. Для того, щоб перевірити правильність підключення приладу до комп'ютера розроблено схему алгоритму підключення (рис. 2.31).

Після проведення першої серії вимірювань кривих ІФХ (під серією вимірювань розуміємо вимірювання кривих ІФХ в усіх горщиках з рослинами, які беруть участь в експерименті, під час серії вимірювань не рекомендовано

робити перерви більше 10 хвилин, оскільки це може вплинути на результати) внести важкий метал відповідно схеми експерименту.

Здійснити вимірювання кривих ІФХ ще 10-15 раз або доти доки рослини в групах будуть рости. Вимірювання проводити кожен день в один і той же час.

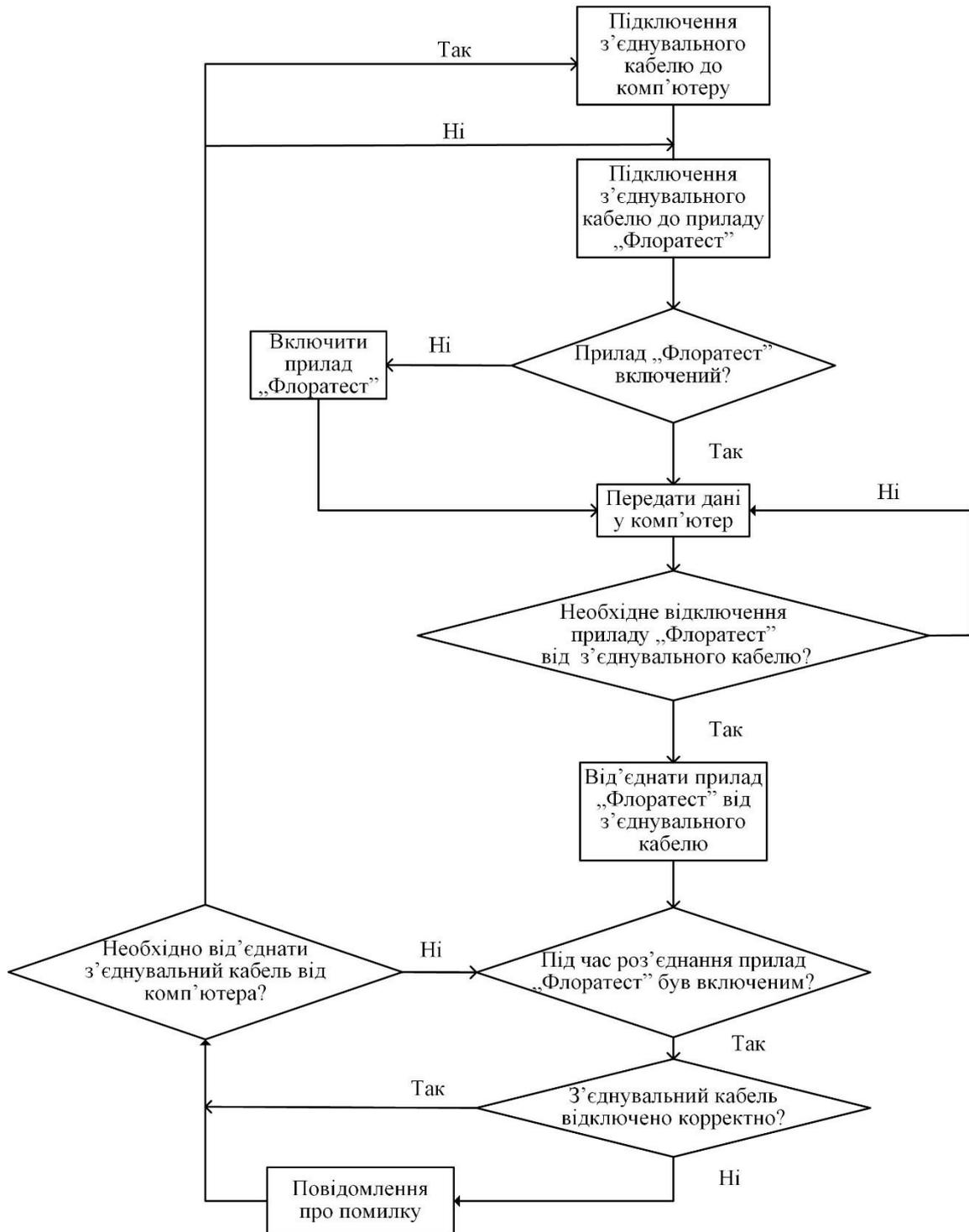


Рисунок 2.31 – Схема підключення приладу "Флоратест" до комп'ютеру

Етап 4. Обробка результатів експерименту

1. Внести в комп'ютер параметри оточуючого середовища, які вимірювалися (рекомендовано використовувати програмне забезпечення MS Office Excel або Open Office) та розрахувати середні значення.

2. Збережені криві ІФХ об'єднати в групи відповідно до журналу експерименту.

3. Виконати перевірку даних вимірювання ІФХ щодо виникнення технічних помилок, при появі таких помилок, вилучити дані криві з подальшого розгляду, як промахи.

4. Розділити криві ІФХ на групи відповідно до схеми експерименту.

5. Розрахувати середні значення ІФХ в кожній групі для кожного дня експерименту за допомогою додатку "CFiAnalyzer".

6. Побудувати графіки ІФХ за групами.

7. Розрахувати параметри кривих ІФХ за допомогою додатку "CFiAnalyzer". Розраховуються наступні параметри флуоресценції: F_0 , F_{st} , F_m , F_v , F_v/F_m , Area, R_{fd} .

8. Розрахувати середні значення параметрів флуоресценції

9. Об'єднати параметри індукції флуоресценції хлорофілу (F_0 , F_m , F_{st} та F_v , F_v/F_m , Area, R_{fd}) в таблицю по датам (табл. 2.26) для подальшого аналізу.

Таблиця 2.26 – Параметри індукції флуоресценції хлорофілу

Дата	Параметр			
	Група			
	V1	V2	V3	V4

Зауваження! Проведення дослідів над рослинами з використанням методу індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою портативного приладу "Флоратест" вимагає певну кількість часу, оскільки складається з таких основних кроків: розміщення сенсора приладу на листі рослини, проведення

темнової адаптації, вимірювання кривої ІФХ, фіксація параметрів оточуючого середовища в журналі експерименту, передача цифрових даних ІФХ на комп'ютер, обробка кривих ІФХ. Завчасно виконайте оцінку необхідного часу на проведення вимірювань при плануванні експерименту. Час отримання експериментальних даних можна обчислити за формулою [123]:

$$t_e = \frac{\sum_{i=1}^N (t_{ad} + t_m + t_{pr})}{p} + \varepsilon,$$

де t_e – час отримання експериментальних даних; N – загальна кількість вимірювань; t_{ad} – час темнової адаптації листа; t_{pr} – час підготовки до наступного вимірювання (наприклад, переміщення сенсора на інший лист); t_m – час вимірювання кривої ІФХ, p – кількість сенсорів, ε – похибка.

2.4 Узагальнена структура обробки інформації для точного землеробства

Побудовано узагальнену структуру обробки інформації для точного землеробства, яка може адаптуватися під різні умови використання, наприклад, в сільському господарстві, екологічному моніторингу, тепличних господарствах тощо. Ядром є облік фактичних робіт, до якого ведуть ланки оцінки наявності ресурсів, метеоданих, супутникового моніторингу техніки, сенсорів для обстеження ґрунту, історії ділянки, топографії поля, сенсорів для виявлення бур'янів, лабораторної діагностики та безпілотних технологій (рис. 2.31, 2.32). Важливий елемент – сенсори для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу, які дозволяють отримувати інформацію про стан рослин в експресному режимі [6, 129, 130]. Деякі з ланок мають розгалуження з більш детальним описом компонентів. Ядро другої мапи – результати обробки всієї інформації, а саме облік фактичних робіт, які виникають під час моніторингу стану територій зелених насаджень різної природи. В результаті буде виконане планування виробничої діяльності.

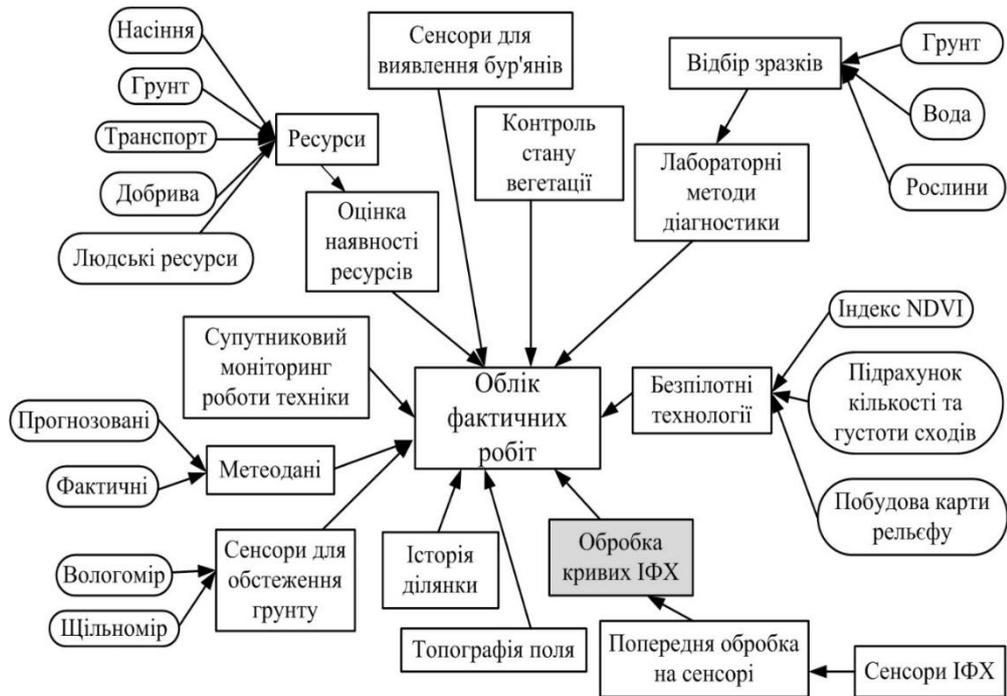


Рисунок 2.31 – Узагальнена структура обробки інформації для точного землеробства



Рисунок 2.32 – Узагальнена структура обліку фактичних робіт в точному землеробстві

Таким чином визначено місце приладів та сенсорів ІФХ в точному землеробстві.

Висновки за розділом 2

1. Виконано оцінку часу проведення експериментів методом індукції флуоресценції хлорофілу в лабораторних умовах. Встановлено, що для виконання експериментів методом ІФХ в лабораторних умовах необхідно багато часу, що необхідно враховувати при плануванні експерименту.

2. Виконані дослідження та аналіз параметрів флуоресценції хлорофілу показали, що при розробці методичного забезпечення для діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу слід брати до уваги розташування сенсора на листку рослини, а саме розташування сенсору над товстою центральною жилкою листа рослини призводить до помилкових результатів.

3. Досліджено вплив метеопараметрів довкілля на форму кривої індукції флуоресценції хлорофілу, а саме: температури ґрунту і повітря, вологості ґрунту і повітря, сонячної радіації. Доведено, що під час довготривалого моніторингу стану довкілля за допомогою бездротового інтелектуального біосенсора потрібно враховувати зв'язок параметрів флуоресценції хлорофілу з метеопараметрами.

4. Розроблено програмний засіб для аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу "CFiAnalyzer". Програма дозволяє спростити аналіз, а саме об'єднати криві ІФХ, розрахувати значення усередненої кривої індукції флуоресценції хлорофілу, розрахувати параметри флуоресценції та побудувати модель індукції флуоресценції хлорофілу методом крокової регресії.

5. На основі результатів аналізу кривих індукції флуоресценції хлорофілу розроблено методичне забезпечення для діагностики стану рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу, яке включає перелік рослин індикаторів, ознаки надлишкового вмісту елементів в ґрунті, приклад схеми експерименту та шаблон журналу експерименту.

6. Побудовано узагальнену структуру обробки інформації для точного землеробства, яка може адаптуватися під різні умови використання, наприклад, в сільському господарстві, екологічному моніторингу, тепличних господарствах тощо, що дало можливість визначити місце приладів та сенсорів індукції флуоресценції хлорофілу в точному землеробстві.

РОЗДІЛ 3

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ЕКСПРЕСНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В МЕДИЦИНІ

3.1 Розробка інформаційної системи для попередньої діагностики на основі медичних опитувальників

Зважаючи на нагальну потребу медицини в експресній діагностиці інфекційних захворювань, а також враховуючи загрозу глобальної пандемії, такої як COVID-19, нами розроблені інструментальні засоби експресної діагностики для застосування в медицині для підтримки медичного скринінгу на основі відомих та оригінальних опитувальників для оцінки якості життя та жіночого здоров'я.

Слід відзначити, що в Україні практично відсутні програмні засоби підтримки та 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 відповідних апаратних і програмних засобів для автоматизованої оцінки якості життя. Для реалізації поставленої мети використано розроблений в Інституті кібернетики спеціалізований пристрій [95] з спеціальним прикладним програмним забезпеченням [96, 97] на базі мобільного планшетного комп'ютера, який отримав назву «медичний інформаційний комунікатор».

Перелічені програмні засоби передбачено об'єднати в інформаційну систему для попередньої діагностики, яка призначена для роботи з різноманітними опитувальниками медичного призначення [131].

На основі [132] побудовано структуру інформаційної системи (рис. 3.1), робота якої базується на опитувальниках різного призначення. Компонентами системи є "Пацієнт", "Лікар", "Програмна складова", "Інформаційна

складова". Програмна складова містить модулі "Інтерфейс пацієнта", "Опитувальник", "Оцінка відповідей", "Виведення результату", "Пояснення та/або рекомендації". Інформаційна складова містить "Базу даних", "Базу знань", "Інтерфейс лікаря". Пацієнт має доступ до "Інтерфейсу пацієнта", а лікар в свою чергу до інтерфейсу лікаря. Таким чином відбувається взаємодія між лікарем та пацієнтом. Передбачено одночасний доступ до системи багатьох користувачів (пацієнтів), які можуть обирати різні опитувальники в залежності від рекомендацій або вказівок лікаря.

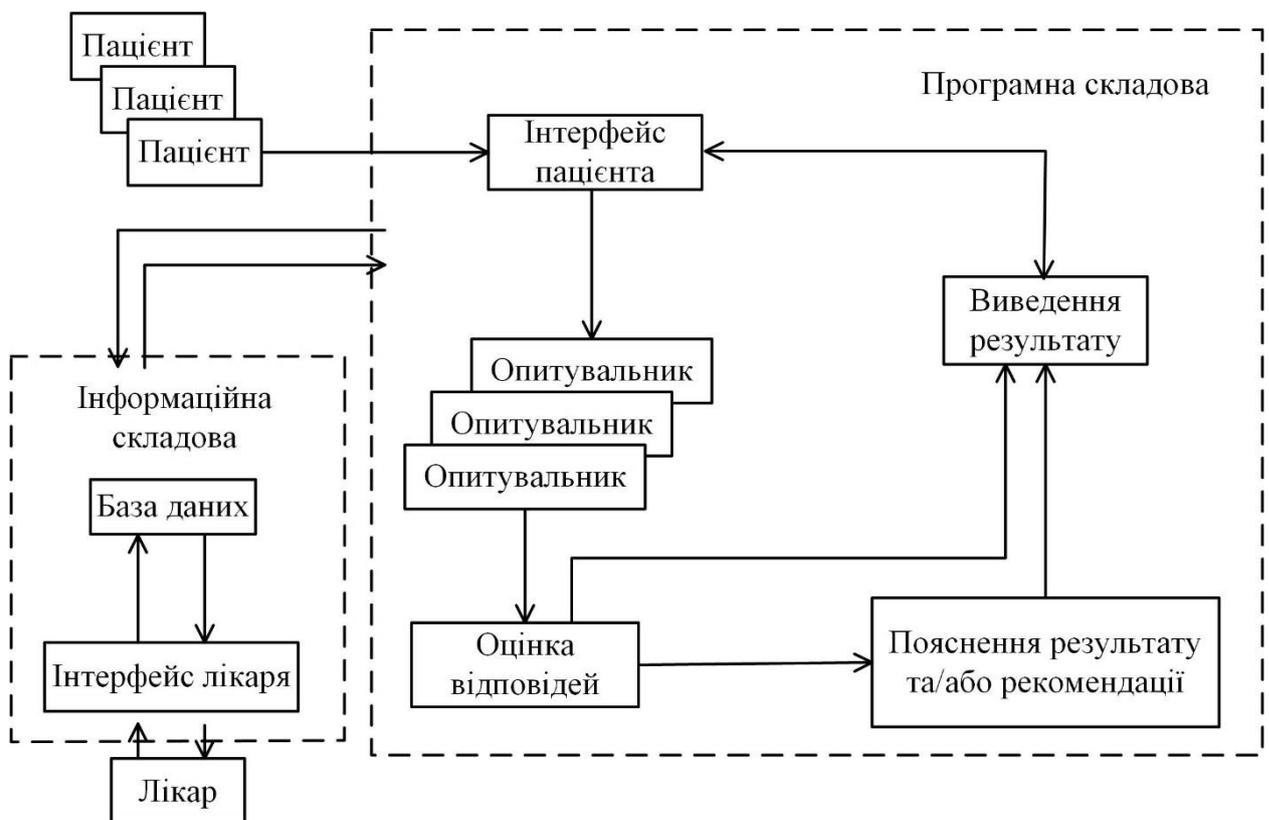


Рисунок 3.1 – Структура інформаційної системи для попередньої діагностики

Блок-схему роботи системи наведено на рис. 3.2. Спочатку пацієнт повинен авторизуватися в системі, для цього ввести свої пароль та email, а також вибрати опитувальник. Якщо авторизація успішна, пацієнт переходить до читання інструкції до опитувальника і після цього переходити 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 дані повинні бути відправлені на Web-сервер.

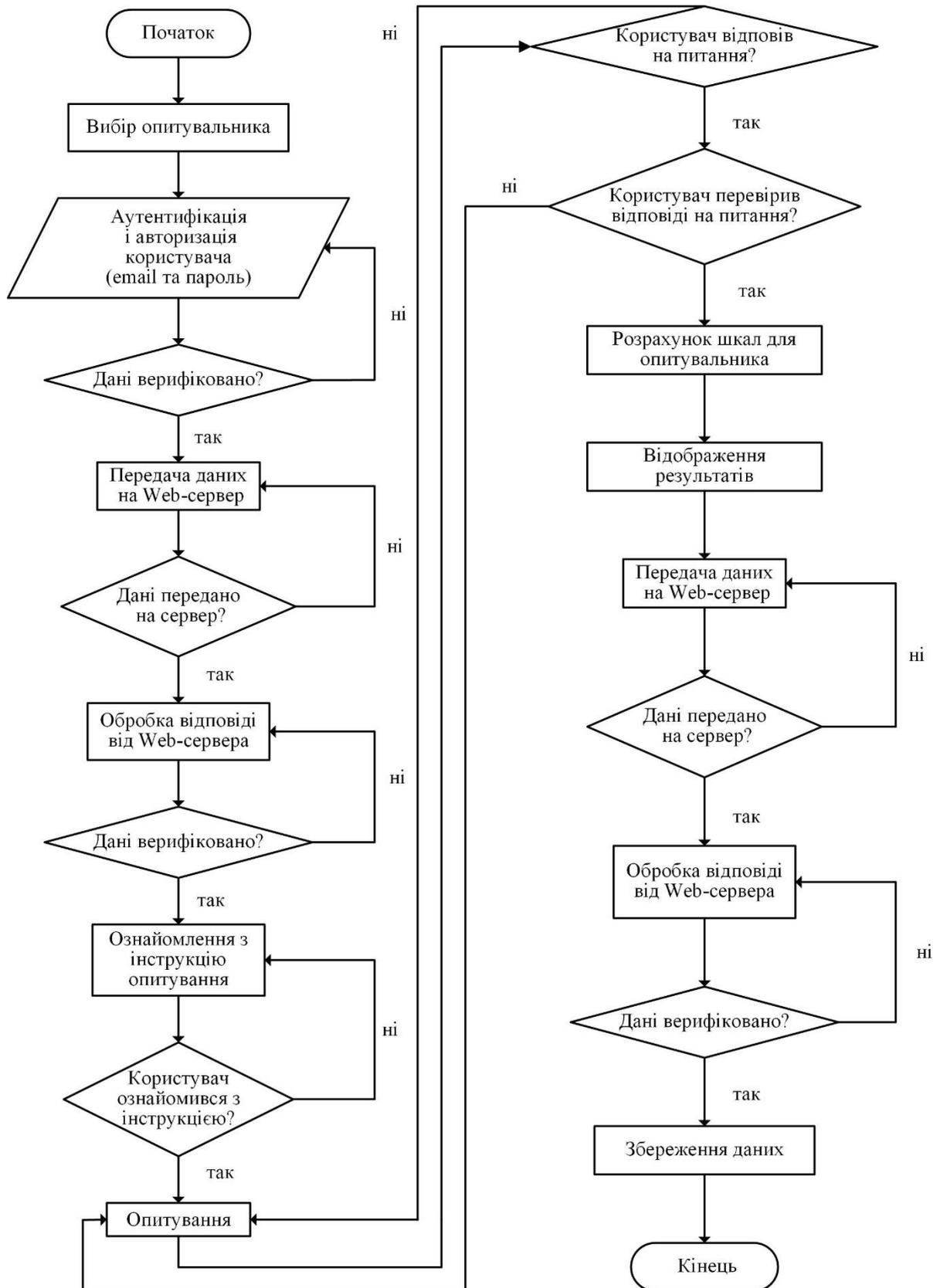


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму роботи інформаційної системи для попередньої діагностики

Діаграма послідовності відображає взаємодію між об'єктами в контексті спільної роботи, а саме між пацієнтом, інтерфейсом користувача та Web-сервером під час авторизації (рис. 3.3) та під час передачі результатів опитування на Web-сервер (рис. 3.4).

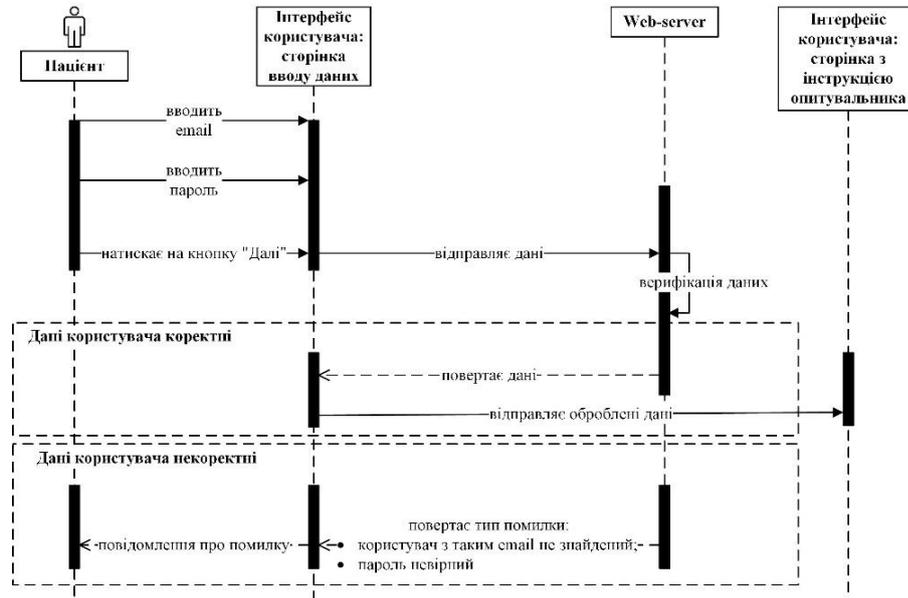


Рисунок 3.3 – Діаграма послідовності взаємодії пацієнта, інтерфейсу користувача та Web-серверу під час авторизації

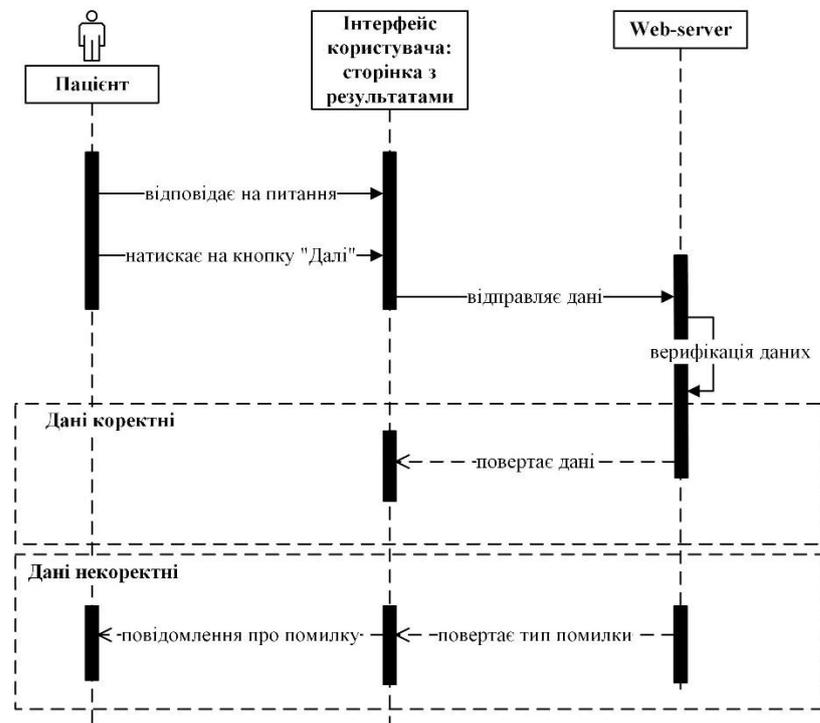


Рисунок 3.4 – Діаграма послідовності взаємодії пацієнта, інтерфейсу користувача та Web-серверу під час передачі результатів опитування на Web-сервер

Дані опитування зберігаються в базі даних, для якої нами розроблено схему бази даних та відповідну діаграму «сутність-зв'язок» (ER-модель) (англ. Entity-relationship model) для зберігання великої кількості опитувальників різного призначення (рис. 3.5). Розробка схеми бази даних допомагає організувати дані в окремі об'єкти, що полегшує її використання. Адміністратори також можуть контролювати доступ за допомогою різних типів дозволів до бази даних, це додає ще один рівень безпеки для конфіденційних даних; дозволяє користувачам зрозуміти логічні обмеження та методи агрегації даних у таблицях; допомагає забезпечити достовірність та уникнути дублювання даних [133].

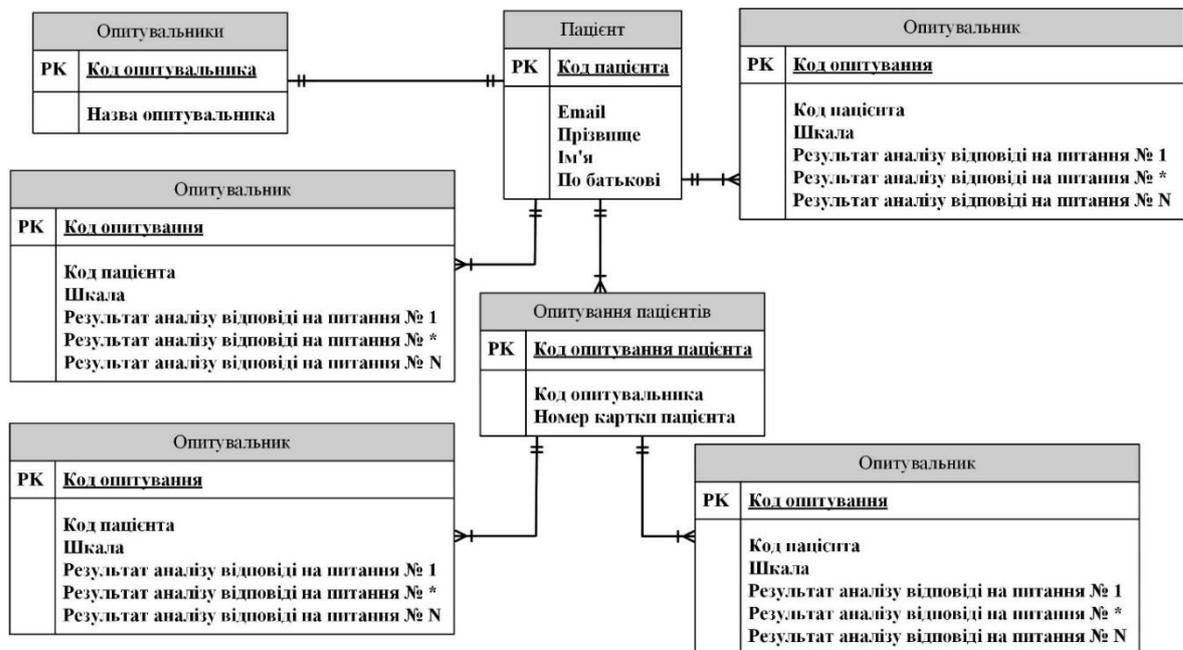


Рисунок 3.5 – Діаграма «сутність-зв'язок»

Структуру сенсорної мережі для автоматизованої групової оцінки стану здоров'я пацієнтів [134] наведено на рис. 3.6. Мережа включає пацієнтів з мобільними пристроями, сервер лікарні, центр прийняття рішень та робочі місця лікарів.

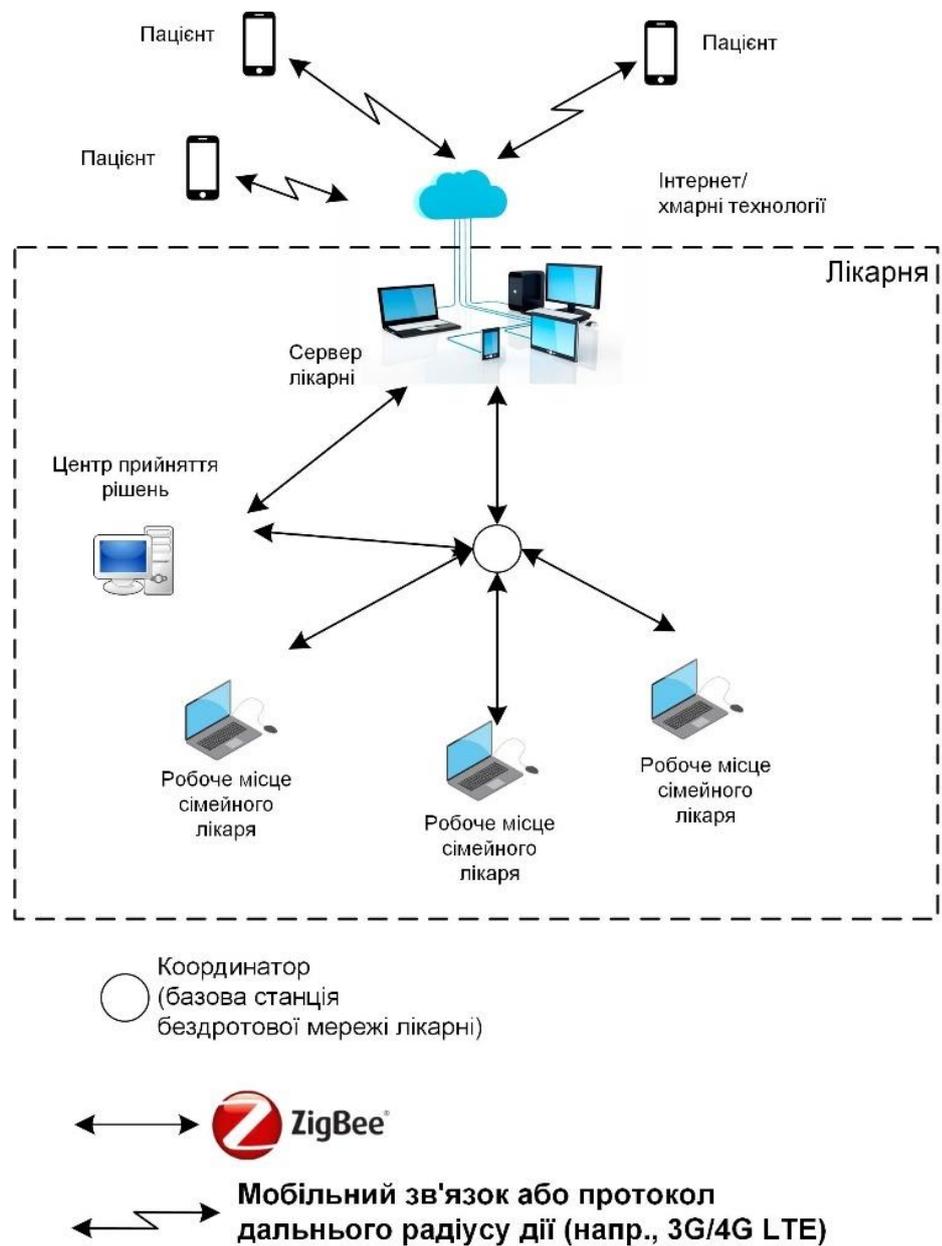


Рисунок 3.6 – Структура сенсорної мережі для групової оцінки стану здоров'я пацієнтів

Опитувальники в системі зберігаються в форматі JSON (Java Script Object Notation).

Таким чином, розроблено структуру інформаційної системи для попередньої діагностики, блок-схему алгоритму роботи системи, діаграми послідовності взаємодії між пацієнтом, інтерфейсом користувача та Web-сервером, схему бази даних для зберігання великої кількості опитувальників різного призначення та структуру сенсорної мережі для автоматизованої групової оцінки стану здоров'я пацієнтів.

3.2 Опитувальники для оцінки якості життя як елемент інформаційної системи

Оцінку ЯЖ проводять шляхом анкетування, пацієнтам пропонують відповісти на низку питань у комфортних умовах. Наприклад, в [135] стандартизоване оцінювання ЯЖ здійснювалося за допомогою анкетування пацієнтів шляхом самостійного заповнення опитувальників. Під час первинного огляду отримували інформовану згоду пацієнта на участь у дослідженні. Пацієнту пояснювали правила заповнення опитувальників. Далі протягом 10-15 хвилин українська версія опитувальника SF-36 заповнювалася пацієнтом самостійно. Щоб допомогти пацієнтам із зниженими навичками читання або порушеннями зору, використовувався метод прямого опитування: лікар зачитував всі питання вголос, а пацієнт давав усну відповідь, яка фіксувалася в опитувальнику лікарем. Невеликий відсоток хворих здійснювали цю процедуру вдома, а заповнені опитувальники повертали через декілька днів. Підрахунок результатів здійснювався після закінчення візиту, без присутності пацієнта.

В зв'язку з тим, що стандартні оригінальні опитувальники розробляються в країнах з іншим менталітетом та традиціями, медичні працівники в Україні стикаються з проблемами транскультурної, мовної адаптації та перевірки психометричних властивостей інструментів оцінки ЯЖ. Щоб запобігти втраті валідності, прийнята стандартна процедура перекладу та апробації опитувальників. Опитувальник SF-36 нормований для загальної популяції США і репрезентативних вибірок в Австралії, Франції, Італії. У США і країнах Європи були проведені дослідження окремих популяцій і отримані результати за нормами для здорового населення і для груп хворих з різними хронічними захворюваннями (з виділенням груп за статтю та віком).

Опитувальник MOS SF-36 перекладено на українську мову з використанням методології міжнародного проєкту оцінки якості життя IQOLA. Українська версія MOS SF-36 [136] пройшла три етапи гармонізації та

культурної адаптації [137] в ДУ "Національний інститут фізіатрії і пульмонології ім. Ф.Г. Яновського НАМН України".

Оцінка ЯЖ за допомогою опитувальника SF-36 складається із 36 питань, об'єднаних у 8 шкал:

1. **Фізична активність** (Physical Functioning, PF): суб'єктивна оцінка респондентом об'єму свого буденного фізичного навантаження. Зв'язок прямий, чим вищим є показник, тим більше фізичне навантаження, на думку респондента, він може виконати.
2. **Роль фізичних проблем в обмеженні життєдіяльності** (Role Physical Functioning, RP): суб'єктивна оцінка респондентом ступеня обмеження своєї буденної діяльності внаслідок стану здоров'я за останні чотири тижні. Зворотній зв'язок: чим вищий показник, тим менше на думку респондента, проблеми із здоров'ям обмежують його буденну активність.
3. **Біль** (Bodily Pain, BP): характеризує роль суб'єктивних больових відчуттів респондента в обмеженні його діяльності за останні чотири тижні. Зворотний зв'язок: чим вищий показник, тим менше, на думку респондента, больові відчуття заважають його буденній діяльності.
4. **Життєздатність** (Vitality, VT): суб'єктивна оцінка респондентом свого життєвого тону (енергія, жвавість тощо) за останні чотири тижні. Прямий зв'язок: чим вище показник, тим вище респондент оцінює свій життєвий тонус, більше часу за останні чотири тижні почував себе повним сил та енергійним.
5. **Соціальна активність** (Social Functioning, SF): Суб'єктивна оцінка респондентом рівня своїх відносин з друзями, колегами по роботі, рідними за останні чотири тижні. Прямий зв'язок: чим вищий показник, тим вище респондент оцінює рівень своїх соціальних зв'язків.
6. **Роль емоційних проблем в обмеженні життєдіяльності** (Role Emotional, RE): суб'єктивна оцінка респондентом ступеня обмеження своєї буденної діяльності, обумовленою емоційними проблемами, за останні чотири

Показники кожної шкали варіюють між 1 і 100, де 100 представляє повне здоров'я. Більш висока оцінка вказує на більш високий рівень ЯЖ. Для пункту "Стан здоров'я в порівнянні з тим, що було рік тому" не виконується перерахунок в шкалу від 0 до 100 балів, рекомендовано розглядати відповіді на цей пункт як прості дані та аналізувати відсоток респондентів, які обирають кожний пункт [136].

Для кожної шкали в [136, 138] наведено таблиці значень норм, довірчих інтервалів та стандартних помилок вимірювань, які отримані в результаті популяційних досліджень в США. Дані наводяться на всієї популяції, об'єднані в залежності від віку: 18-24 рр, 25-34 рр, 35-44 рр, 45-54 рр, 55-64 рр, 65-74 рр, 75 і старше та аналогічно для даних вікових груп, окремо для жінок та чоловіків. Також наводяться таблиці для деяких видів захворювань, зокрема, діабету другого типу, клінічної депресії та хронічної серцевої недостатності. Аналогічні популяційні дослідження проводилися в багатьох країнах світу відповідно до рекомендацій. В Україні аналогічні дослідження мають фрагментарний характер.

В роботі [138] наведено пояснення та алгоритм розрахунку двох показників «фізичний компонент здоров'я» та «психологічний компонент здоров'я», які формуються на основі шкал:

1. Фізичний компонент здоров'я (Physical Component Summary, PCS)

Складові шкали:

- фізична активність;
- роль фізичних проблем в обмеженні життєдіяльності;
- біль;
- загальне здоров'я.

2. Психологічний компонент здоров'я (Mental Component Summary, MCS)

- життєздатність;
- соціальна активність;
- роль емоційних проблем в обмеженні життєдіяльності;
- психічне здоров'я.

Дані опитування зберігаються в базі даних (рис. 3.7), яка модифікована під даній опитувальник – додана таблиця з інформацією про лікаря.



Рисунок 3.7 – Діаграма «сутність-зв'язок»

Діаграма включає сутність «Лікар», «Пацієнт», «Опитувальники», «Опитування пацієнтів», «Опитувальник №» та «Опитувальник MOS SF-36». Кількість опитувальників залежить від вимог замовника. Для наочності наведено «Опитувальник MOS SF-36» з переліком реальних атрибутів.

Сутність «Лікар», має атрибути «Код лікаря», який є первинним ключем (Primary Key (PK)), «Ім'я», «Прізвище», «По батькові», «Email», «Номер мобільного телефону», «Номер робочого телефону» (може бути пустим полем), «Відділення». Лікар лікує пацієнта. Сутність «Пацієнт» має атрибути «Номер картки» (PK), «Вік», «Стать», «Email», «Код лікаря». Вважаємо, що у пацієнта може бути лише один лікар, а лікар мати багато пацієнтів. Сутність «Опитувальники» містить «Код опитувальника» (PK), «Назва опитувальника».

Лікар назначає пройти опитування пацієнту. Сутність «Опитування пацієнтів» містить атрибути «Код опитування пацієнта» (PK), «Код опитувальника», «Код лікаря», «Номер картки пацієнта».

Пацієнт відповідає на запитання обраного опитувальника. Спільні атрибути для опитувальників: «Номер опитування» (PK), «Код опитування пацієнта», «Код опитувальника», «Код лікаря», «Номер картки пацієнта»,

«Дата». Сутність «Опитувальник MOS SF-36» в якості атрибутів містить відповіді на питання відповіді на питання від 1 до 36 та розраховані 8 шкал та два показника «фізичний компонент здоров'я» та «психологічний компонент здоров'я», аналогічним чином сутності «Опитувальник № 1» та № 2 містить відповіді на питання та компоненти, які розраховуються (не наведені на схемі).

Розглянемо проблему використання електронних версій опитувальників. В роботі [139] наведено результати розробки прототипу програми для проведення опитування за допомогою опитувальника оцінки якості життя QLQ-C30 (німецька версія 3) для операційної системи iOS (версія 8 і наступні) без змін у формулюванні. 84% (68/81) учасників вважають краще мобільну версію ніж паперову. У прототипі версії програми дані зберігалися на пристрої; в майбутньому 79% (64/81) пацієнтів погоджуються на передачу даних через Інтернет. Таким чином, розробка мобільного додатку є актуальною задачею і є прийнятною для використання пацієнтами.

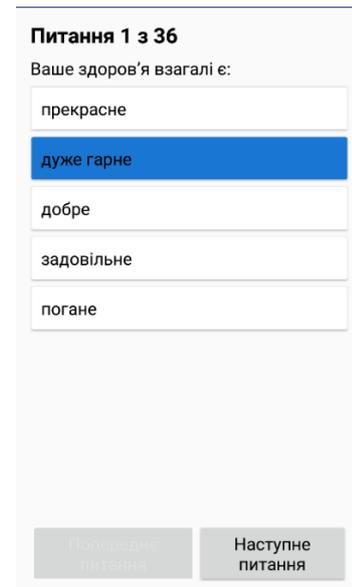
3.2.1 Опис програмного засобу

Нами розроблено програмний засіб для оцінки якості життя "QofLQ" [140] (див. Додаток Ж, М), призначений для використання на операційній системі Android (рис. 3.8). Для даної версії програмного засобу база даних з результатами опитування зберігається в мобільному пристрої. Слід відзначити, що у додатку нумерація питань від 1 до 36 включно, на відміну від опитувальника [136], інших змін не внесено.

За замовчуванням результати опитування пацієнта не виводяться на екран. За вимогою на екран виводиться діаграма з результатами опитування (рис. 3.9 а), або у разі необхідності – порівняння для кожної шкали з нормами США для віку та статі пацієнта (рис. 3.9 б).



а)

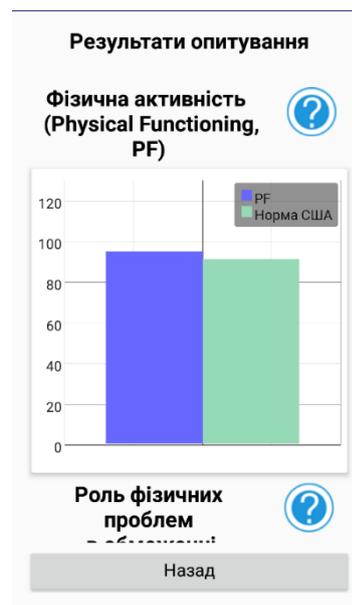


б)

Рисунок 3.8 – Вікно програми: а – головне вікно мобільного додатку при запуску, б – вікно проведення опитування після вибору варіанта



а)



б)

Рисунок 3.9 – а) детальні результати опитування, б) вікно з результатами опитування

Перебачено збереження даних опитування у мобільному пристрої в форматі csv. Файл з результатами містить елементи відповідно до діаграми на рис. 3.9 і додатково закодовані та сирі відповіді на питання.

3.2.2 Тестування роботи програмного засобу

Тестування програмного засобу з зазначенням віку в діапазоні [15-104] виконано нами наступним чином: підібрані відповіді на питання так, щоб для кожної шкали можна отримати 0, 25, 50, 75 або 100 % або найбільш наближений результат для кожної шкали. Для цього розрахована таблиця сум відповідей на питання для кожної шкали (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Розраховані значення сум

шкала \ %	0	25	50	75	100
PF	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00
RP	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
BP	2,00	4,50	7,00	9,50	12,00
GH	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00
VT	4,00	9,00	14,00	19,00	24,00
SF	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00
RE	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00
MH	5,00	11,25	17,50	23,75	30,00

Виходячи з отриманих даних, підібрані відповіді таким чином, щоб отримати необхідну або максимально наближену суму. Тобто зіставлено 5 варіантів наборів відповідей на кожне питання (див. Додаток К).

Після відповіді на питання збережено файл з результатами в мобільному пристрої та передано на ПК. Виконано порівняння даних відповідей. Отримані результати для кожної шкали наведено в табл. 3.3:

Таблиця 3.3 – Розраховані значення сум

шкала \ %	0	25	50	75	100
PF	0	25	50	75	100
RP	0	25	50	75	100
BP	0	22	50	74	100
GH	0	25	52	77	100
VT	0	25	50	75	100
SF	0	25	50	75	100
RE	0	33,3333	33,3333	33,3333	100
MH	0	24	52	76	100
PCS	20,1392	28,8058	39,9767	50,8513	57,8712
MCS	17,3373	29,4865	38,0703	45,756	62,1366

Для шкали RE не має можливості отримати чітко 25, 50 та 75 % результат. Додатково виконано вручну переведення цих наборів даних в цифровий вигляд в файлі Microsoft Excel, для яких також виконано порівняння з даними з результатів. Також виконано розрахунок для кожної шкали. Різниця між даними, отриманими в Microsoft Excel і в програмному засобі, сягає 0,05 % для шкал PCS та MCS, що пов'язано з похибками округлення. Для віку в діапазоні менше 15 та більше 105 перевірено, що з'являється повідомлення про помилку.

Проведено дослідження серед співробітників наукового відділу ІК НАН України, отримані наступні результати (табл. 3.4). Стать: ч – чоловіча, ж – жіноча. На рис. 3.10 наведено 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) – нижче ніж норми США.

Таблиця 3.4 – Результати опитування

Код	01	02	03	04	05	06
вік	73	75	63	75	43	42
Стать	ж	ж	ж	ч	ч	ч
PF	80	95	95	95	95	100
RP	25	100	50	100	25	100
BP	31	61	84	62	41	61
GH	35	60	65	55	60	67
VT	25	70	55	75	70	95
SF	75	87,5	87,5	87,5	62,5	100
RE	66,67	66,67	0	100	100	100
MH	64	72	64	84	72	92
PCS	34,43	51,74	54,91	47,91	39,39	49,44
MCS	44,69	47,74	35,97	55,92	52,68	61,28

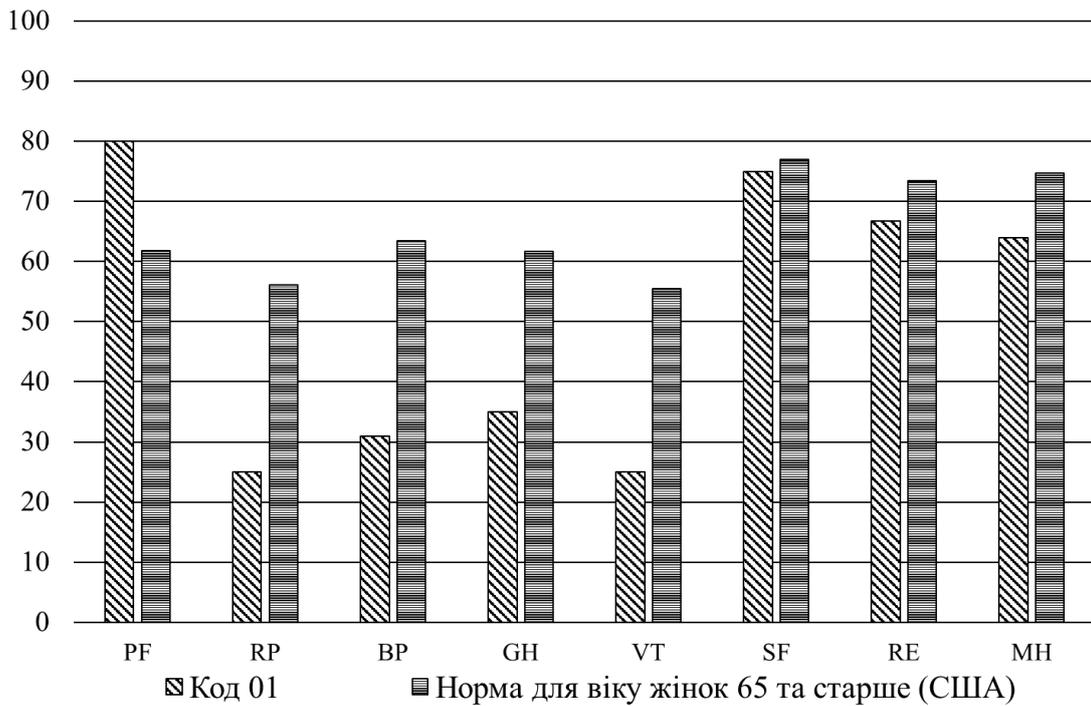


Рисунок 3.10 – Результати опитування людини з кодом 01

Таким чином, проведено тестування та перевірка 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.

3.3 Опитувальник для оцінки стану жіночого здоров'я

Протягом останніх років накопичено багато нових доказових даних, що призвело до перегляду діагностичних підходів і схем лікування жінок при маткових кровотечах у жінок репродуктивного віку.

30% жінок на планеті мають підвищену менструальную крововтрату, половина з них про це навіть не підозрює, а близько 40% знають, але не звертаються за медичною допомогою, вважаючи це за норму. Аномальна маткова кровотеча (АМК) – причина кожної другої гістеректомії. Крім того, іноді порушення самопочуття – больовий синдром, емоціональна лабільність, депресивний настрій, слабкість, стомлюваність, зниження працездатності, що

в підсумку порушує якість життя, звичайно ж, фертильність, часто пов'язане з різними гінекологічними проблемами, що обґрунтовує актуальність активного і, можливо, дистанційного скринінгу.

В Україні затверджено «Уніфікований клінічний протокол первинної, вторинної (спеціалізованої) та третинної (високоспеціалізованої) медичної допомоги аномальні маткові кровотечі» [141]. Аномальна маткова кровотеча (АМК) – узагальнююче поняття для будь-якого відхилення менструального циклу від норми, що включає зміни регулярності і частоти менструацій, тривалості кровотечі або кількості крові, що втрачається [141, 142].

Офіційні дані про поширеність АМК в Україні відсутні. Всесвітньою організацією охорони здоров'я визначено, що частота даного стану коливається в межах від 8 до 27%. Персональне сприйняття норми при менструації розрізняється через соціально-культурні та етнічні особливості. Тому пацієнтки не завжди об'єктивно оцінюють обсяг кровотечі і вплив менструації на якість життя, що створює певні труднощі у виявленні АМК.

У випадку гострої кровотечі додаткові методи виявлення не потрібні, оскільки жінка переважно сама змушена звернутися до лікаря по допомогу. Однак у разі хронічного перебігу АМК пацієнтки не часто звертають увагу на характер менструальних кровотеч і не завжди вважають за необхідне обговорювати це питання з лікарем, часто звертаються за медичною допомогою через інші проблеми (анемію або інші захворювання). Ці обставини потребують впровадження чітких нормативно детермінованих рекомендацій щодо опитування пацієнтки з метою виявлення АМК.

Діагностика АМК включає наступні кроки: збір анамнезу та фізикальне обстеження допомагають встановити причину АМК, направити жінку на подальше обстеження, визначити/уточнити тактику ведення пацієнтки; лабораторна діагностика, візуалізаційні дослідження (УЗД) [142].

Аналіз опитувальників дав можливість виділити питання, які на рівні первинної консультації дозволяють виявити контингент пацієнток, котрі потребують додаткового обстеження на предмет діагностики АМК.

На цій основі в Центрі інноваційних медичних технологій НАН України розроблено критерії АМК на основі міжнародних критеріїв FIGO (The International Federation of Gynecology and Obstetrics) та протоколу [141] 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)" [143] (див. Додаток Ж, М) 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.

Для розробки використано мову програмування Java та інтегроване середовище розробника Android Studio 4.2.2, на базі яких забезпечується зберігання даних опитування. Для цього створено відповідну базу даних, для якої розроблено діаграму «сутність-зв'язок» (рис. 3.11).

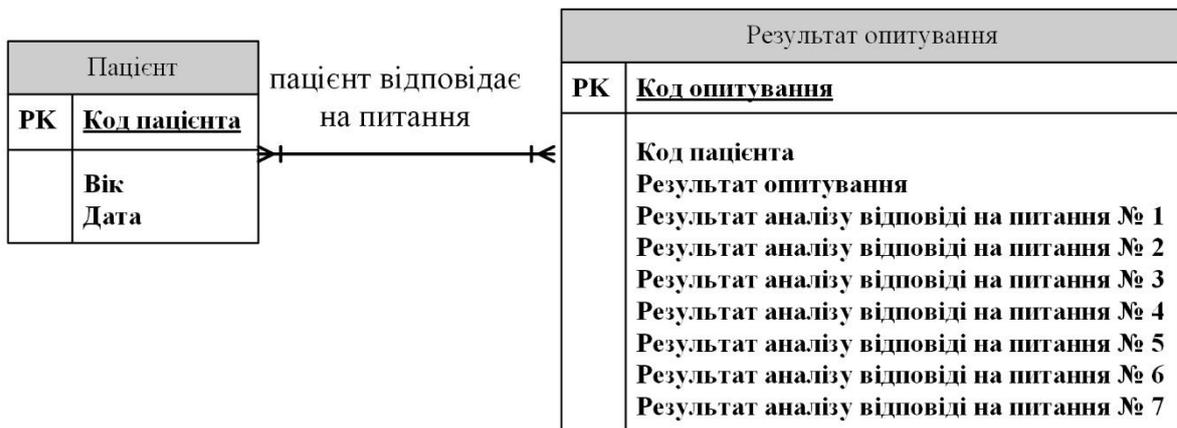


Рисунок 3.11 – Діаграма «сутність-зв'язок»

Таким чином, розроблено схему бази даних для зберігання результатів опитування під час опитування за допомогою опитувальника "Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу".

3.3.1 Опис програмного засобу

Розглянемо інтерфейс програмного засобу. Після запуску програмного засобу відкриється головна сторінка додатку з коротким описом програми (рис. 3.12 а). Якщо вік в межах від 5 до 19 включно з'явиться повідомлення питанням «Чи відбувалася у Вас перша менструальна кровотеча?». Опитувальник складається з семи питань. Після відповіді на кожне питання, крім першого і до отримання результатів, можна повернутися на сторінку попереднього запитання та переглянути результат або змінити його, відповіді при цьому зберігаються. Структурою опитувальника передбачено наступне: при відповіді на питання № 1, № 2, № 3 та № 5, 6, 7 необхідно вибрати лише варіант; при відповіді на питання № 4 можна обрати декілька варіантів або залишити дане питання без відповіді.

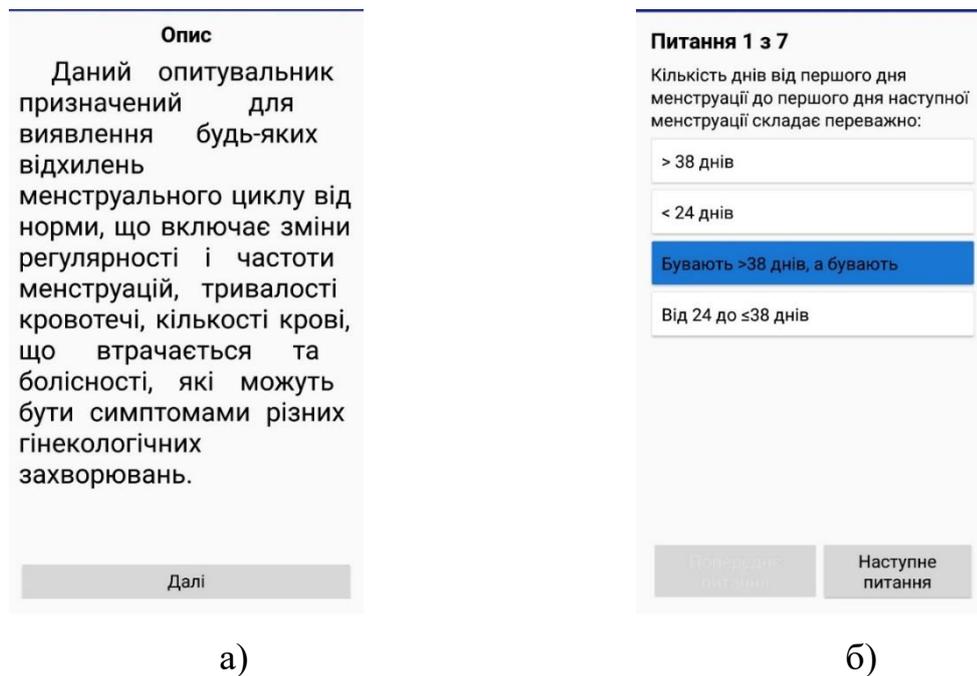


Рисунок 3.12 – Головне вікно мобільного додатку (а), вікно проведення опитування після вибору варіанта (б)

Після завершення опитування з'явиться вікно з результатами опитування: виявлено ознаки абнормальної менструальної функції

(рис. 3.13 а) або не виявлено (рис. 3.13 б). Додатково перебачено збереження даних опитування у мобільному пристрої в форматі csv.

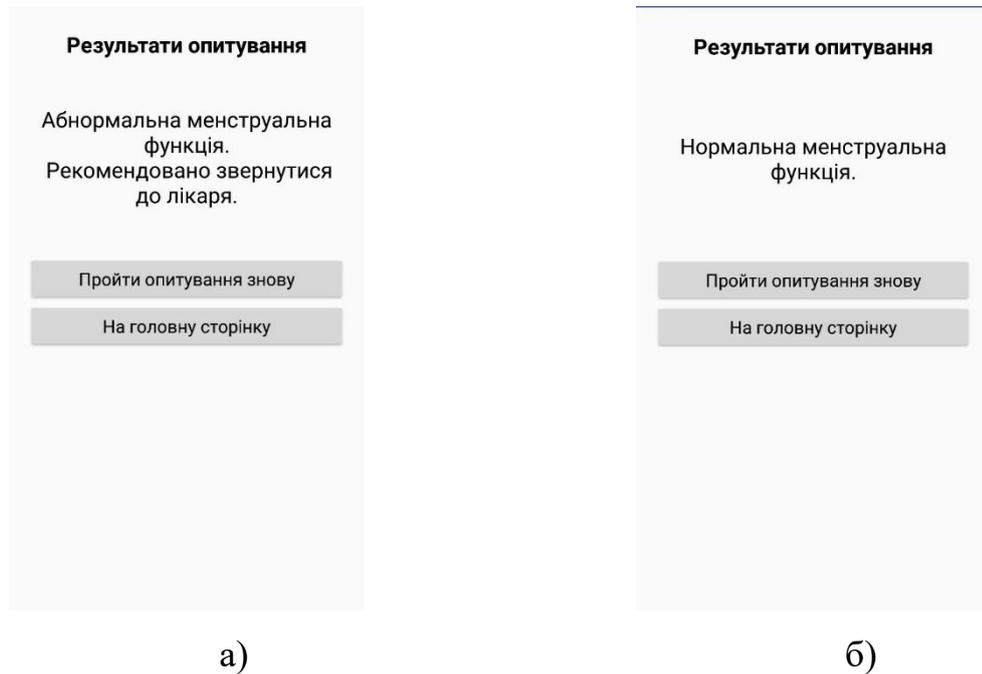


Рисунок 3.13 – Вікно з результатами опитування: а – виявлено ознаки абнормальної менструальної функції, б – не виявлено

Отже, розроблено програмний засіб для оцінки адекватності менструального циклу "Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу (MenstrualCalc)".

3.3.2 Тестування роботи програмного засобу

Дані для тестування даного опитувальника обрано наступним чином:

Для віку більше 20:

- перевірити, що питання № 4 може бути залишене без відповіді;
- перевірити, що при відповіді на питання № 4 можна обрати один варіант;
- перевірити, що при відповіді на питання № 4 можна обрати всі варіанти;
- перевірити, що при відповіді на питання № 6 «Ні» відкривається питання № 7;

- перевірити, що при відповіді на питання № 7 «1», «2», «3» та всі інші відповіді передбачають результат «Норма» результуюча відповідь буде «Норма»;
- отримати результат «Норма»;
- отримати результат «АМК».

Таким чином, сформовано 6 наборів відповідей, результати перевірено за допомогою збереження результатів опитування у csv файлі. Для віку в діапазонах [6, 14] і [15, 19] перевірено появу повідомлення «Чи відбувалася у Вас перша менструальна кровотеча?» та відповідей «Дане опитування для Вас неактуальне» та «Рекомендовано звернутися до лікаря» відповідно.

Отже, проведення тестування програмного засобу для виявлення можливих помилок у роботі та своєчасного їх виправлення.

3.4 Спеціалізовані опитувальники

Розроблено програмний засіб для використання на мобільних пристроях та планшетах на базі спеціалізованих опитувальників HADS і DASH. HADS [102] – шкала для оцінки депресивних і тривожних станів і використовується як скринінговий метод для виявлення і оцінки ступеня тяжкості тривоги і депресії. Опитувальник містить 14 питань, кожен із яких має 4 варіанти відповіді. Оцінка здійснюється за сумою балів заповненого опитувальника.

Опитувальник нездатності верхніх кінцівок DASH [103] складається з трьох розділів: перший модуль включає питання щодо симптомів та неспроможності виконати побутове завдання верхньою кінцівкою (30 питань), другий та третій розділи необов'язкові. Необов'язкові модулі дають бали за участь у спорті чи грі на музичних інструментах (4 питання) та за виробничу діяльність (4 питання) [144].

Програмний засіб має інтерфейс, аналогічний розглянутим в попередніх підрозділах. Важливою відмінністю є наступне. Відповідно до вимог до програмного засобу на першому етапі відбувається авторизація пацієнта на

Web-сервері, тобто для того, щоб пройти опитування на мобільному пристрої повинний бути включений Інтернет, пацієнту необхідно ввести електронну пошту та відповідний пароль. Приклади повідомлень про помилки, які можуть виникнути, наведено на рис. 3.14.

На сервер передаються пароль та електронна пошта у форматі JSON. У відповідь надається інформація про пацієнта та токен аутентифікації (механізм безпеки у вигляді рядку символів, який використовується для підтвердження ідентичності користувача під час доступу до ресурсу [145]). У випадку позитивної відповіді від сервера відбувається перехід до інструкції та проведення опитування.



Рисунок 3.14 – Вікно з різними типами помилок

Для зберігання відповідей у програмному засобі розроблено відповідну базу даних (рис. 3.15).

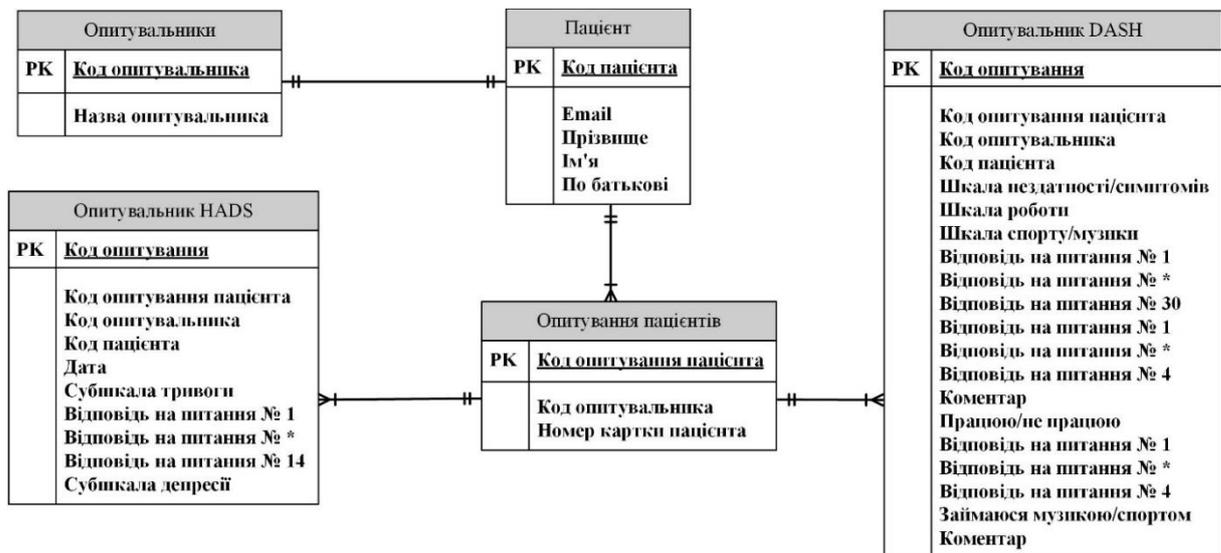


Рисунок 3.15 – Діаграма «сутність-зв'язок»

Після того, як пацієнт відповів на питання, виконується розрахунок відповідних шкал. На сервер передається дата та час, шкали, ідентифікатор пацієнта та токен, у відповідь надається ця ж інформація та ідентифікатор опитування. Якщо інформацію передано на сервер, з'явиться відповідне повідомлення (рис. 3.16).

Результати опитування

Дякуємо! Результати тестування збережено.

Вибрати опитувальник

Дані передано на сервер

Рисунок 3.16 – Вікно з результатами опитування

Тестування програмного засобу відбувалося окремо для опитувальника DASH і HADS.

Опитувальник DASH має 3 шкали, мінімальне значення яких 0, максимальне 100. Мінімальна сума відповідей – 30, максимальна 150 для шкали, яка складається з 30 питань. Для шкал, які складаються з 4 питань: мінімальне 4, максимальне – 20. Приклад наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Приклади відповідей на питання

№ питання	Відповідь				
	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	1	2	3	4	5
3	1	2	3	4	5
4	1	2	3	4	5
Сума відповідей	4	8	12	16	20
Значення	0	25	50	75	100

Таким чином перевірялися значення шкал, щоб отримати в результаті такі значення: 0, 25, 50, 75 та 100 балів. Окремо перевірялася можливість пройти лише першу частину опитувальника та разом першу і другу.

Опитувальник HADS має дві шкали тривоги і депресії. Для деяких питань спочатку відбувається перекодування відповідей, розрахунок шкал відбувається додаванням відповідей. Для тестування обрано такі варіанти відповіді, щоб отримати бали 0, 7, 14 та 21 відповідно.

В зв'язку з тим, що пацієнту не надається відповідь щодо опитування, результат тестування виводився в консоль.

3.5 Опитувальник ВОЗ STEPS

Спільно з ДУ «Інститут геронтології ім. Д.Ф. Чеботарьова НАМН України» запропоновано програмний засіб на базі опитувальника ВОЗ STEPS. Інструмент STEPS призначений для епідеміологічного спостереження за поширеністю неінфекційних хвороб та їх факторів ризику в субпопуляціях (трудових, навчальних колективах, територіальних громадах та ін.). Додатково, з опитуванням виконується аналіз сечі за допомогою тест-смужки Uriscan, тест на колірний зір та тест на когнітивний статус [146].

Для роботи з опитувальником використано розробленого в ІК НАН України медичний інформаційний комунікатор [95-97].

Комунікатор передбачається використовувати для трьох цілей. По-перше, це обробка даних під час електронного опитування STEPS. По-друге, відображення індивідуальних результатів тестування. По-третє, формування узагальненої епідеміологічної інформації про поширеність неінфекційних захворювань та факторів їх ризику в цільовій субпопуляції, яка використовується, як інформаційна підтримка для планування та впровадження профілактичних заходів у цільових субпопуляціях.

З метою отримання репрезентативних даних для дорослого населення України віком від 18 до 69 років з липня по листопад 2019 р. проведено національне крос-секційне дослідження [147] для якого залучено 63 інтерв'юери, відповідь надали 4409 респондентів, серед яких 1648 чоловіків та 2761 жінок. Використання комунікатора дозволяє спростити проведення аналогічних досліджень в майбутньому.

Висновки за розділом 3

1. Розроблено блок-схему алгоритму роботи інформаційної системи, діаграми послідовності взаємодії між пацієнтом, інтерфейсом користувача та Web-сервером, схему бази даних для зберігання великої кількості опитувальників різного призначення та структуру сенсорної мережі для автоматизованої групової оцінки стану здоров'я пацієнтів. На базі цих компонентів 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.
2. Розроблено оригінальний програмний засіб для оцінки якості життя "QoLQ", який дозволяє проводити опитування пацієнтів за допомогою

опитувальника MOS SF-36, розраховувати його шкали та зберігати отримані дані.

3. Розроблено мобільний додаток "Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу (MenstrualCalc)", призначений для виявлення відхилень менструального циклу від норми, який включає зміни регулярності і частоти менструацій, тривалості кровотечі, кількості крові, що втрачається, та болісності, які можуть бути симптомами різних гінекологічних захворювань.
4. Розроблено програмний засіб для мобільних пристроїв та планшетів на базі спеціалізованих опитувальників HADS і DASH в якому передбачено передачу результатів опитування на Web-сервер.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи отримано такі результати:

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.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. РЕВОЛЮЦІЯ МАШИН: у майбутньому людина буде виключена зі схеми землеробства. URL: <https://agroday.com.ua/2018/02/08/povstannya-mashyn-u-majbutnomu-lyudyna-bude-vyklyuchena-iz-shemy-zemlerobstva/> (дата звернення: 15.12.2022)
2. Kurtener D., Yakushev V.P., Krueger E.D., Yakushev V.V., Slinchuk S.G., Aivasov G.S., Petrushin A. Regional data collection and management on the enterprise level. *Proceedings of the Urban and Regional Data Management*, Stuttgart, Germany, 10-12 October, 2007. P. 73-81.
3. Ortiz R. Feasibility Study for the Development of Precision Agriculture in Mexico.
URL: <https://www.unoosa.org/documents/pdf/psa/activities/2014/trieste-gnss/38.pdf> (дата звернення: 06.05.2019)
4. Антонова Г.В., Ковирьова О.В. Бездротові технології як ланка цифровізації сільського господарства. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2018. №17. С. 53-59.
5. 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. *7-ма Міжнародна науково-технічна конференція "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології" (СЕМСТ-7) (з виставкою розробок та промислових зразків сенсорів)*: Тези доповідей. Одеса: Астропринт. 2016, С. 108.
6. Palagin O., Grusha V., Antonova H., Kovyrova O., Lavrentyev V. Application of biosensors for plants monitoring. *Information theories and applications*. Vol. 24, Number 2. Sofia, Bulgaria. 2017. P. 115-126.
7. Palagin O., Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Brayko Yu., Imamutdinova R. Wireless sensor network for precision farming and

- environmental protection. *Information theories and applications*. 24 (1). Sofia, Bulgaria. 2017. P. 19-34.
8. Палагін О.В., Романов В.О., Галелюка І.Б., Вороненко О.В., Груша В.М., Ковирьова О.В., Антонова Г.В., Лаврентьєв В.М., Брайко Ю.О., Імамутдінова Р.Г. "Розумні" сенсорні мережі: від ідеї до ринку. *XII Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2018*, 16–20 квітня 2018 року: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 18–20.
 9. Романов В.О., Галелюка І.Б., Груша В.М. Нова інформаційна технологія експрес-оцінювання стану рослин в умовах дії стресових факторів. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2016. №15. С. 94-101.
 10. Сайт Відділу перетворювачів форми інформації Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. URL: <http://www.dasd.com.ua/> (дата звернення: 15.12.2022)
 11. Palagin O., Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Artemenko D., Kovyrova O., Sarakhan Ye. Computer devices and mobile information technology for precision farming. *Proceeding of the 7th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications"*, IDAACS'2013, September 12–14, 2013, Berlin, Germany, P. 47-51. DOI: 10.1109/IDAACS.2013.6662637.
 12. Дмитрик П.М. Фітопатологія: конспект лекцій. Івано-Франківськ, 2015. 127 с.
 13. Сарахан Є.В. Розробка і удосконалення методів оцінки посухостійкості винограду та прийомів послаблення дії посухи : дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.08. Одеса, 2008. 167 с.
 14. Функціональна діагностика рослин.
URL: https://agrosfera.ua/ua/articles/Funktsional%CA%B9na_diahnostyka_roslyn (дата звернення: 27.01.2023)
 15. Michtchenko A., Hernandez-Vizuet M., Budagovskaya O. Laser diagnostics of fruits in storage. *2012 9th International Conference on Electrical Engineering*,

- Computing Science and Automatic Control (CCE)*. Mexico City, Mexico, 2012, P. 1-3. DOI: 10.1109/ICSEE.2012.6421173.
- 16.Тарновський М.Г., Янковський Я.Ю. Оптичні методи аналізу фізіологічного стану рослин для задач сільського господарства та екологічного моніторингу. *Оптико-електрон. інформ.-енерг. технології*. 2012. № 1. С. 127-130.
 - 17.Guo Ya, Tan Jinglu. Recent Advances in the Application of Chlorophyll a Fluorescence from Photosystem II. *Photochemistry and Photobiology*. 2015, 91, P. 1-14.
 - 18.Dąbrowski P, Pawluśkiewicz B, Baczevska AH, Oglęcki P, Kalaji HM. Chlorophyll a fluorescence of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) varieties under long term exposure to shade. *Zemdirbyste*. 2015; 102(3). P. 305-312.
 - 19.Koprowski, M., Robertson, I., Wils, T.H.G. et al. The application of potato starch effluent causes a reduction in the photosynthetic efficiency and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Trees*, October 2015, Volume 29, Issue 5, P. 1471–1481.
 - 20.Мусієнко М.М. Фізіологія рослин: Підручник. Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 192 с.
 - 21.Макрушин М.М., Макрушина Є.М., Петерсон Н.В. та ін. Фізіологія рослин. Підручник. Вінниця: Нова книга, 2006. 416 с.
 - 22.Stirbet A., Lazár D., Guo Y., Govindjee G. Photosynthesis: basics, history and modelling. *Annals of Botany*, Volume 126, Issue 4, 14 September 2020. P.511–537. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcz171>.
 - 23.Kautsky H., Hirsch A. Neue Versuche zur Kohlenstoffassimilation. *Naturwissenschaften*. 1931. 19. S. 964.
 - 24.Корнеев Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. Киев: "Альтапрес". 2002. 188 стр.
 - 25.Strasser R.J., Srivastava A., Tsimilli-Michael M. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples, in: M. Yunus, U. Pathre,

- P. Mohanty (Eds.). *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation*, Taylor and Francis. 2000, London, UK. P. 443-480.
26. Strasser R.J., Tsimilli-Michael M., Srivastava A. Analysis of the chlorophyll fluorescence transient, in: G.C. Papageorgiou, Govindjee (Eds.), *Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis*, *Advances in Photosynthesis and Respiration*. 2004. vol. 19. Springer, Dordrecht, The Netherlands, P. 321–362.
27. Kalaji M.H., Goltsev V.N., Żuk-Gołaszewska K., Zivcak M., Brestic M. Chlorophyll Fluorescence: Understanding Crop Performance. *Basics and Applications* (1st ed.). 2017. CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315153605>.
28. 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.
29. Kalaji H.M., Schansker G., Brestic M. et al. Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel. *Photosynth Res*. 132. 2017. P. 13–66. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-016-0318-y>.
30. Massunaga M.S.O., Gatts C.E.N., Gomes A.G., Vargas H. A simple model for the dynamics of photosynthesis. *Analytical Sciences*. 2001. April. 17 Special Issue. P. 29-30.
31. Pettersson G., Ryde-Pettersson U. A mathematical model of the Calvin photosynthesis cycle. *European Journal of Biochemistry*. 1988. 175. P.661-672. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1988.tb14242.x>.
32. Poolman M.G., Fell D.A., Thomas S. Modelling Photosynthesis and Its Control. *Journal of Experimental Botany*. 51. 2000. P. 319-28. URL: <http://www.jstor.org/stable/23696510>.
33. Sauro H.M. SCAMP: a general-purpose simulator and metabolic control analysis program. *Comput Appl Biosci*. 1993 Aug. 9(4). P. 441-50. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/9.4.441>.
34. E-Cell project. URL: <http://www.e-cell.org> (дата звернення: 15.12.2022).

35. Laisk A., Eichelmann H., Oja V., Eatherall A., Walker D.A. A mathematical model of the carbon metabolism in photosynthesis. Difficulties in explaining oscillations by fructose 2, 6-bisphosphate regulation. *Proc. R. Soc. Lond.* B237. P. 389–415. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspb.1989.0057>.
36. Wang E., Nakayama Y., Tomita M. Computer Modeling of Photosynthesis Using the E-CELL System. *Genome Informatics*, 2000. 11. P. 458–459.
37. Riznichenko G.Y., Belyaeva N., Kovalenko I.B., Ustinin D.M., Abaturova A.M., Rubin A.B. Modeling of primary photosynthetic processes. Mathematical Models of Non-linear Phenomena. *Processes and Systems: From Molecular Scale to Planetary Atmosphere*. 2013, P. 397-425.
38. Riznichenko G., Lebedeva G., Demin O., Rubin A. Kinetic mechanisms of biological regulation in photosynthetic organisms. *Journal of biological physics*. 1999. 25(2-3). P.177–192. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005101703188>.
39. Antal T.K., Maslakov A., Yakovleva O.V. et al. Simulation of chlorophyll fluorescence rise and decay kinetics, and P700-related absorbance changes by using a rule-based kinetic Monte-Carlo method. *Photosynth Res* 138, 2018. P. 191–206. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0564-2>.
40. Belousov R.V., Poltev S.V., Kukushkin A.K. A theoretical model for electron and proton coupling at quinone-binding site of photosystem II of higher plants. *Bioelectrochemistry*. Amsterdam, Netherlands. 2004. 63(1-2). P.95–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2003.09.032>.
41. von Caemmerer S. Biochemical models of leaf photosynthesis. Victoria, Australia: CSIRO Publishing 2000. 165 pp.
42. Ковирьова О.В. Моделі фотосинтезу та комп'ютерна оцінка стану рослин. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2010. №9. С. 72-81.
43. Kalaji H.M., Schansker G., Ladle R.J. et al. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. *Photosynth Res* 122. 2014. P.121–158. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-014-0024-6>.
44. Hansatech Instruments. URL: <http://www.hansatech-instruments.com> (дата звернення: 15.12.2022).

45. Артеменко Д.М., Колесник Ю.С., Романов В.О., Федак В.С. Хлорофіл-сенсори польових приладів. *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології*. 2012. Т. 2(9). № 2. С. 43-49.
46. Ковирьова О.В. Огляд портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2013. № 12. С. 46 – 53.
47. Opti-Sciences. URL: <http://optisci.com/> (дата звернення: 15.12.2022).
48. Walz Photosynthesis Instruments. URL: <http://www.walz.com/> (дата звернення: 15.12.2022).
49. Photon Systems Instruments. URL: <https://www.psi.cz> (дата звернення: 15.12.2022).
50. Романов В.О. Інформаційна технологія експрес-оцінювання стану рослин на великих територіях в умовах дії стресових факторів. № ДР 0616U000130.
51. Романов В.О., Галелюка І.Б., Груша В.М. Нова інформаційна технологія експрес-оцінювання стану рослин в умовах дії стресових факторів. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2016, №15.
52. Антонова Г.В., Кедич А.В. Використання кластера бездротової сенсорної мережі у цифровому землеробстві. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2022. 1. С. 64–71. DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.22.1.7>.
53. Romanov V., Galelyuka I., Antonova H., Kovyrova O., Hrusha V., Voronenko O. Application of wireless sensor networks for digital agriculture. *Proceeding of the 10th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications"*, IDAACS'2019. Metz, France, 2019, September 18–21. P. 340-344. DOI: 10.1109/IDAACS.2019.8924267.
54. Антонова Г.В., Кедич А.В. Тестування бездротової сенсорної мережі для експрес-діагностики стану рослин. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2020. 3. С. 90–100. DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.20.3.9>.
55. Романов В.О., Галелюка І.Б., Груша В.М., Антонова Г.В., Вороненко О.В., Кедич А.В., Ковирьова О.В. Смарт-системи для прецизійного землеробства,

- захисту довкілля та охорони здоров'я. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2023. 2. С. 69–90. DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.23.2.7>.
56. Войтович І.Д., Корсунський В.М. Інтелектуальні сенсори. Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. Київ 2007. 513 с.
57. Cytiva. URL: www.cytivalifesciences.com (дата звернення: 15.12.2022).
58. OneStep® Injection Technology. URL: <https://www.sartorius.com/en/products/protein-analysis/onestep-spr-systems> (дата звернення: 15.12.2022).
59. Лебедєва Т.С., Шпильовий П.Б. Підвищення чутливості сенсорів, базованих на поверхневому плазмонному резонансі. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2016. № 15. С. 30-37.
60. Plasmatrix URL: <https://plasmatrix.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
61. MP-SPR Navi™ 200 OTSO URL: <https://www.bionavis.com/en/material-science/products/200-otso/> (дата звернення: 04.02.2021).
62. Icluebio. URL: <https://en.icluebio.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
63. PhotonicSys. URL: <https://www.photonicsys.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
64. Affinité Instruments. URL: <https://www.affiniteinstruments.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
65. BiOptix Analytical LLC. URL: <http://www.biopixanalytical.com/company/> (дата звернення: 14.01.2021)
66. Reichert Technologies. URL: <https://www.reichertspr.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
67. Biosensing Instrument Inc. URL: <https://biosensingusa.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
68. Спектрометри на основі поверхневого плазмон-поляритонного резонансу. URL: <http://plasmon.org.ua/> (дата звернення: 04.02.2021).
69. Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. URL: <https://isp.kiev.ua> (дата звернення 04.02.2021)

70. Lebyedyeva T.S., Minov Y.D., Sutkovyi P.G., Frolov Y.O., Shpylovyy P.B., Starodub M.F. Development and Application of Devices Based on Surface Plasmon Resonance. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2020. 1. P.62–73. DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.20.1.7>.
71. Ходаковський М., Будник М., Риженко Т., Лебедєва Т., Шпильовий П., Мудренко М., Тимошенко Я. Розроблення метрологічного забезпечення рефрактометричних вимірювань на основі поверхневого плазмонного резонансу. *Метрологія та прилади*. 2017. № 5. С. 25-31. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/mettpr_2017_5_6.
72. Лебедєва Т.С., Мінов Ю.Д., Прилуцький М.П., Сутковий П.Г., Фролов Ю.О., Шпильовий П.Б. Застосування програмно-апаратного комплексу «Плазмонтест» для визначення концентрації сперміну. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2023. 1. С. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.23.1.5>.
73. Пристрій для експрес-діагностики інфекційних захворювань: пат. 18099 Україна: МПК G01N 21/64; заявл. 24.05.2006; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 10. 3 с.
74. Палагін О.В., Романов В.О., Стародуб М.Ф., Галелюка І.Б., Скрипник О.В. Портативний прилад для експрес-діагностики пташиного грипу. *Тези 3-ої Міжнародної науково-технічної конференції "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології"* (СЕМСТ-3). (Одеса, 2–6 червня 2008 р.). С. 93.
75. 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.
76. Романов В.О., Стародуб М.Ф., Галелюка І.Б., Артеменко Д.М., Скрипник О.В. Інтелектуальний портативний сенсор для діагностики інфекційних захворювань. *Матеріали X Міжнародної конференції з біоніки*

- та прикладної біофізики. (м. Київ, 27-28 листопада 2008 р.). Київ, 2008. С. 54.
- 77.The HORIBA Group. URL: <https://www.horiba.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
- 78.Bruker Corporation. URL: <https://www.bruker.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
- 79.IBIS Technologies B.V. URL: <https://www.ibis-spr.nl/> (дата звернення 04.02.2021).
- 80.Nicoya. URL: <https://nicoyalife.com/> (дата звернення: 04.02.2021).
- 81.Новітні системи та технології. Частина I. Загальні питання побудови та опрацювання даних в комп'ютерноінтегрованих системах НКТД Навчальний посібник. Електронне мережне навчальне видання, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2022.
- 82.Значення діагностики в медицині URL: <https://vikom.org.ua/uk/diahnostyka> (дата звернення: 29.03.2021).
- 83.Мінцер О.П., Мироненко Н.В., Сіненко Н.О., & Новик А.М. (2020). Participation of patients as an element of safety provision – specific features of the remote format. *Medical Informatics and Engineering*. (4), P. 76–79. DOI: <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2019.4.11024>.
- 84.Медицина «4Р» як основа нової системи охорони здоров'я. URL: <https://health-ua.com/article/42046-meditcina-4r-yak-osnova-novo-sistemi-ohoroni-zdorovya> (дата звернення: 27.01.2023).
- 85.Расулев И.А. О диагностике внутренних болезней. Ташкент: Медицина. 1964. 223с.
- 86.ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТИКА.
URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2321/ekspres-diagnostika> (дата звернення: 01.02.2020).
- 87.Продеус А.М., Синєкоп Ю.С., Швець Є.Я., Кісельов Є. М., Баран М.М. Експертні системи в медицині: Навчальний посібник. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА. 2014. 332 с.

- 88.Любченко К.М. Експертні системи в практичній медицині. *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: збірник наукових праць*. 2008. № 49. С. 3–6.
- 89.Трансдисциплінарна інтелектуальна інформаційно-аналітична система супроводження процесів реабілітації при пандемії : колект. монографія / Палагін О.В. [та ін.]; за ред. Палагіна О. В. ; Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, НАН України, Нац. фонд дослідж. України. Київ: Просвіта, 2021. 348 с. DOI: <https://doi.org/10.54521/ibs34>.
- 90.Палагін О. Трансдисциплінарна інтелектуальна інформаційно-аналітична система супроводження процесів реабілітації при пандемії (TISP). *Український журнал фізичної і реабілітаційної медицини*, Vol 9, no 3-4, Dec. 2021, P. 31-37, DOI:10.54601/2523-479X.2021.9.3-4.4.
- 91.Palagin A.V., Petrenko N.G. Methodological Foundations for Development, Formation and IT-support of Transdisciplinary Research. *Journal of Automation and Information Sciences*, Volume 50, 2018, Issue 10, PP. 1–17. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v50.i10.10.
- 92.Шаховська Н.Б., Кордіяк Д.А. Архітектура медичної системи діагностування у стоматології. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі*. 2014. № 805. - С. 212-221.
- 93.Lupenko S.A., Orobchuk O.R., Vakulenko D.V., Sverstyuk A.S., Horkunenko A.B. Integrated onto-based information analytical environment of scientific research, professional healing and e-learning of Chinese image medicine. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Інформаційні системи та мережі*. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. № 872. С. 10-19. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/42963>.
- 94.Дюбко, Г.Ф., Смірнов О.А., Вакулін В.В. Нейронечітка модель і програмний комплекс формування баз знань експертних систем. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в*

- сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград: КНТУ, 2008. Вип. 20. С. 298-305.
95. Спосіб спілкування з людиною, що має мовні та слухові обмеження: пат. 80490 Україна: МПК G09B 21/00; заявл. 24.01.2013; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10. 4 с.
96. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Допомога у спілкуванні з людиною, що має мовні та слухові обмеження" № 62686 від 26.11.2015 / Мінцер О.П., Романов В.О., Галелюка І.Б.
97. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Порядок дій при наданні невідкладної медичної допомоги" № 62687 від 26.11.2015 / Мінцер О.П., Романов В.О., Галелюка І.Б.
98. Гнатовська Ю.О. Розробка медичних діагностичних систем реального часу. *Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили]. Комп'ютерні технології*. Випуск 77. Том 90. С.130-136.
99. Лебідь І.Г. Аналіз стану та розробка програм ведення дорослих із вродженими вадами серця : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.01.11 / Нац. акад. мед. наук України, Держ. установа "Нац. наук. центр "Ін-т кардіології ім. М. Д. Стражеска". Київ, 2019. 36 с.
100. Кривенко В.І., Качан І.С., Пахомова С.П., Федорова О.П., Колесник М.Ю., Непрядкіна І.В., Грінченко Т.Ю. Якість життя та прихильність до лікування в клініці внутрішніх хвороб: навч. посіб. Запоріжжя, 2015. 80 с.
101. Кривов'яз С.О., Кривов'яз О.В., Макаренко О.В. Оцінка якості життя пацієнтів із первинною відкритокутовою глаукомою та шляхи раціональної фармакотерапії при цій патології. *Раціональна фармакотерапія*. № 2 (39). 2016. С. 32-40.
102. Zigmond A.S., Snaith R.P. The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatr Scand*. 1983; 67(6). P. 361-370. DOI: 10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x.

103. DASH Outcome Measure URL: <https://www.iwh.on.ca/tools-and-guides/dash-outcome-measure> (дата звернення: 21.09.2023).
104. 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.
105. Ковирьова О.В. Методи обробки вимірів кривих індукції флуоресценції хлорофілу. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2014. № 13. С. 117-124.
106. 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.
107. 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.
108. Антонова Г.В., Ковирьова О.В., Лаврентьєв В.М. Графоаналітичний метод аналізу параметрів флуоресценції хлорофілу. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2017. №16. С. 66-75.
109. TFA Dostmann GmbH & Co. KG URL: <http://tfa-dostmann.de> (дата звернення: 15.12.2022).
110. Діагностична система ґрунту 4 в 1.
URL: http://inpromsys.com.ua/catalog/analytical_laboratory_instruments/vlago_mery/wile-diagnosticheskaya-sistema-pochvy-4-v-1.html (дата звернення: 15.12.2022)
111. Shapiro S.S., Wilk M.B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*. 52. 1965. P. 591-611. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
112. Sarkadi K. On testing for normality. Proc. *Fifth Berkeley Symp. on Math. Statist. and Prob.* Vol. 1. Univ. of Calif. Press. 1967. P. 373-387.

113. The R Project for Statistical Computing URL: <http://www.r-project.org/> (дата звернення: 15.12.2022).
114. Glantz S. Primer of Biostatistics (6 ed). McGraw-Hill. 2005.
115. Володарський Є.Т., Кошева Л.О. Теорія та практика експериментальних досліджень: навчальний посібник. Вінниця: ФОП Барановська Т.П. 2023. 298 с.
116. Fisher R. A., Yates F. Statistical tables for biological, agricultural and medical research. Ed. 6. Edinburgh: Oliver and Boyd. 1963. 146 p.
117. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. 3-е издание. Киев.: Диалектика. 2007. 912 с.
118. Архипов О.Є., Архипова С.А. Математичне моделювання соціальних систем і процесів: Навч.-метод. посіб. Київ: ІВЦ" Видавництво" Політехніка, 2002.
119. Романов В.О., Галелюка І.Б. Комп'ютерний прилад для експрес-діагностики стану рослин: результати міжнародного проекту по підготовці до серійного випуску. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2012. № 11. С. 91 – 98.
120. 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.
121. International Software Testing Qualifications Board. URL: <https://www.istqb.org/> (дата звернення: 15.12.2022).
122. Огляд видів тестування.
URL: <https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/review-the-types-of-testing/> (дата звернення: 15.12.2022).
123. Груша В.М. Обробка результатів експериментальних досліджень, проведених з використанням портативного флуорометра "Флоратест". *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2015. № 14. С. 109–116.
124. Елин Е.Я., Мещеряков Г.И. Атлас растений-индикаторов лесов Украины. Киев: Урожай, 1973. – 46с.

125. Атлас рослин-індикаторів і типів лісорослинних умов Українського Полісся : [монографія] / В. П. Краснов, О. О. Орлов, М. М. Ведмідь ; [під ред. В. П. Краснова]; НАН України, Держ. ком. ліс. госп-ва України, Поліс. філ. Укр. НДІ ліс. госп-ва та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького. – Новоград-Волинський: [НОВОГрад], 2009. 487 с.
126. Sazanova A., Bashmakov D., Brazaitytė A., Bobinas S., Duchovskis P., Lukatkin A. The effect of heavy metals and thidiazuron on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Zemdirbyste*. 2012. 99. P. 273-278.
127. Гуральчук Ж.З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії : Моногр. Ін-т фізіології рослин і генетики НАН України. Київ: Логос. 2006. 208 с.
128. Гришко В.М., Піскова О.М. Особливості акумуляції важких металів у листках деревних рослин при аерогенному забрудненні екотопів. *Інтродукція рослин*. 2014. № 1. С. 93-100.
129. Романов В.О., Артеменко Д.М., Груша В.М. та ін. Бездротові інтелектуальні портативні прилади для моніторингу стану рослин. *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології*. Т.2 (8) 3/2011. С.76–80.
130. 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.
131. Романов В.О., П'ятчаніна Т.В., Ковирьова О.В. Медичні комунікатори для сімейної медицини. *Медична інформатика та інженерія* (науково-практичний журнал), № 1, 2020, С. 78-83. DOI: <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2020.1.11132>.
132. Гришанов С.О., Канашевич М.О. Реалізація експертної системи для діагностування генераторів теплових електричних станцій. *Збірник наукових праць X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті* (Кременчук 28-29 березня 2012р.). Кременчук: КНУ, 2012. С. 305-306.

133. What is a database schema? URL: <https://www.ibm.com/topics/database-schema> (дата звернення: 15.09.2023).
134. 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>.
135. Іванюк Н.Б. Предиктори покращення систолічної функції лівого шлуночка та якості життя у пацієнтів з ішемічною хворобою серця і серцевою недостатністю після реваскуляризації міокарда : автореф. дис. ... канд. мед. наук : 14.01.11 / Нац. мед. акад. післядиплом. освіти ім. П. Л. Шупика . Київ, 2017. 24 с.
136. Ware J., Kosinski M., Gandek B.. SF-36 Health Survey: Manual & Interpretation Guide. Lincoln, RI: Quality Metric Incorporated, 1993, 316 p.
137. Бабійчук Ю.В. Динаміка первинної інвалідності, фактори ризику її виникнення, показники якості життя хворих бронхіальною астмою : дис.. канд. мед. наук: 14.01.27 / Вінницький національний медичний ун-т ім. М.І. Пирогова. Вінниця, 2002. 143 с.
138. John E. Ware SF-36 Physical and Mental Health Summary Scales: A User's Manual. Health Institute, New England Medical Center, 1994, 188 p.
139. Kessel K.A., Vogel M.M., Alles A., Dobiasch S., Fischer H., Combs S.E. Mobile App Delivery of the EORTC QLQ-C30 Questionnaire to Assess Health-Related Quality of Life in Oncological Patients: Usability Study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2018 Feb 20. 6(2):e45. DOI: 10.2196/mhealth.9486.
140. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Мобільний додаток "QofLQ" № 100921 від 26.11.2020 р. / Ковирьова О.В., П'ятчаніна Т.В.
141. Уніфікований клінічний протокол первинної, вторинної (спеціалізованої) та третинної (високоспеціалізованої) медичної допомоги

- аномальні маткові кровотечі. Затверджено Наказ Міністерства охорони здоров'я України 13.04.2016 № 353 (зі змінами 23.09.2016 № 994).
142. Запорожан В.М., Татарчук Т.Ф., Бер А., Дубоссарська, З.М. Національний консенсус щодо ведення пацієток із аномальними матковими кровотечами. *Репродуктивна ендокринологія*, № 1 (21). 2015. С. 7-14.
143. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма «Мобільний додаток «Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу» («Menstrual Calculator»)" № 109745 від 23.11.2021 р. / Ковирьова О.В., Татарчук Т.В., Косей Н.В., Тутченко Т.М., Яроцька Н.В.
144. Страфун О.С. Порівняння ряду міжнародних оціночних шкал функції ліктьового суглоба. *Вісник ортопедії, травматології та протезування*. 2019. № 4. С. 44-50.
145. Токени аутентифікації. URL: <https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/authentication-tokens/> (дата звернення: 04.09.2023).
146. 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 Всеукр. наук.-практ. конференції. Київ: КНЕУ. 2022. с. 272-276.
147. STEPS поширеність факторів ризику неінфекційних захворювань. Україна 2019. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/336643> (дата звернення: 06.02.2023).
148. Дурман. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2597/durman> (дата звернення: 15.12.2022).
149. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Київ: Аграрна освіта, 2001. 591 с.

Додаток А

Опис процесу фотосинтезу

Фотосинтез – це процес утворення зеленими рослинами органічних сполук із диоксиду вуглецю CO_2 і води H_2O за допомогою квантів світла [19]. Це багатокроковий і складний процес, тому при його моделюванні зосереджуються на окремих фазах процесу, зокрема на моделюванні циклу Кальвіна – Бенсона – Бассема (циклу Кальвіна), який також відомий як відновлючий пентозофосфатний цикл (ВПФ-цикл).

Основним джерелом енергії для фотосинтезу є енергія Сонця. Рослини використовують для фотосинтетичного процесу не більше 2 – 5 % отриманої сонячної енергії. Ця енергія поглинається певними структурами клітин, а саме спеціалізованим об'єднанням – хлоропластами. Хлоропласти містять тилакоїди, які в свою чергу утворюють свою просторову конструкцію, та різноманітні ферменти, що приймають участь у процесі засвоєння рослинами CO_2 . За хімічним складом більшість хлоропластів складається з білків, ліпідів, ДНК, РНК, мінеральних речовин та пігментів – хлорофілів, каротиноїдів [20].

Пігмент – це сполука (складна молекула), яка поглинає світло у видимій області спектра (400-700 нм). У залежності від спектрального складу поглинутого світла пігменти набувають забарвлення – зеленого, жовтого, червоного та інших. Розрізняють три класи фотосинтетичних пігментів – хлорофіли, каротиноїди та фікобіліни.

Найважливішу роль відіграє хлорофіл. Це пігмент, який поглинає світло в червоній і синій частинах спектра, тоді як, у зеленій світло відбивається. В даний час відомо більше десяти типів хлорофілу, проте основним пігментом є хлорофіл *a*.

При поглинанні світла хлорофіл має два максимуми – в смузі 428-430 нм (синій) та 660-663 нм (червоний) [20]. Оптичні властивості хлорофілу обумовлені його структурою. Пігмент характеризується чітко вираженим чергуванням подвійних і одинарних зв'язків. При кожному атомі вуглецю

знаходиться вісім валентних електронів. Між кожною парою електронів знаходиться пара електронів, яка утворює σ -зв'язок. Крім того, є пара π -електронів, яка може пересуватися по всьому вуглецевому ланцюжку (явище резонансу). Завдяки резонансу молекули хлорофілу мають додаткову стабільність [21].

Спарені електрони легко збуджуються квантами світла. Енергія такого збудження легко забезпечується сонячною радіацією у смузі 380–720 нм. У хлорофілу (на відміну від інших пігментів) є додаткова можливість для поглинання світла. Кожний атом азоту має три пари електронів, які пов'язані з магнієм. Ці електрони також мають здатність поглинати світло.

На рис. А.1 наведений спектр хлорофілу *a*, який розчинено в диетиловому ефірі, графік отримано за допомогою програми PhotochemCAD™.

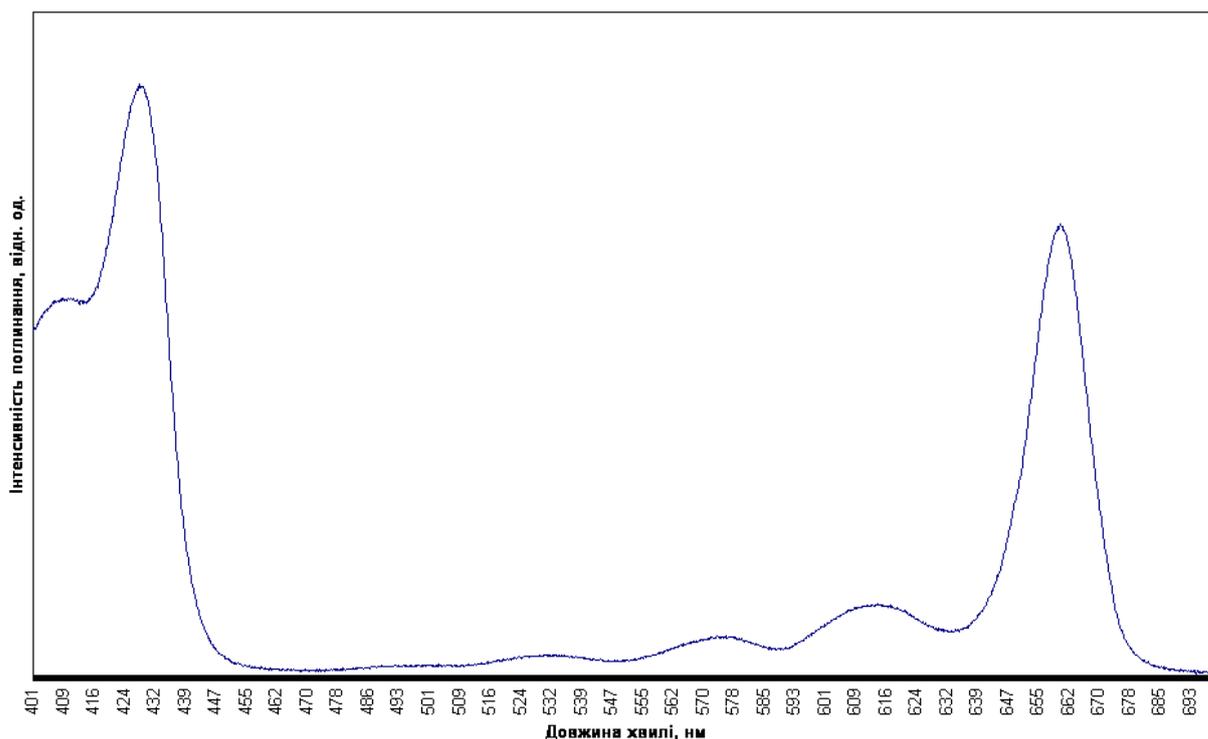
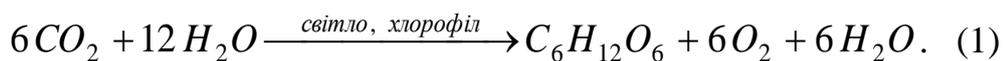
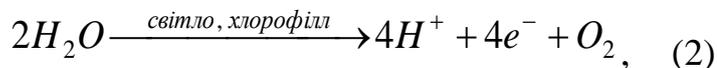


Рисунок А.1 – Спектри поглинання хлорофілу *a* розчиненого в диетиловому ефірі. Максимуми знаходяться в точках 428-430 и 660-663 нм.

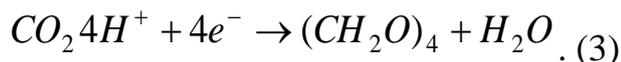
Розглянемо загальне рівняння фотосинтезу. Відповідно до [19] рівняння фотосинтезу має вигляд:



Дану реакцію також можна описати двома окисно-відновними реакціями, одна з яких включає фотодисоціацію води:



а друга – відновлення CO_2 до вуглеводів, але вже без участі квантів сонячної енергії:



Фотосинтез складається з двох фаз – темної і світлової. Під час першої (світлової) фази відбувається запасання енергії для утворення аденозинтрифосфату (АТФ) і високоенергетичних переносників електронів, в другій (темній) – енергетичні продукти першої фази використовуються для відновлення CO_2 до вуглеводів. Організмами фотосинтезу, анатомічно пристосованих до його ведення, є листя вищих рослин.

Світлова фаза фотосинтезу. Фотосинтез є, перш за все, фізичним процесом. Він починається з поглинання електромагнітної енергії сонячних квантів у вигляді збуджених електронів хлорофілу (процес накопичення і стабілізації).

Основною гіпотезою транспорту енергії є гіпотеза індуктивного резонансу, яка підтверджується явищем флуоресценції. Незбуджена молекула хлорофілу знаходиться в тепловій рівновазі з навколишнім середовищем і такий стан S_0 називають основним. У цьому стані валентні електрони займають нижні енергетичні рівні, причому згідно принципу Паулі не більше двох електронів з антипаралельними спінами на кожній орбіті. Сумарний спін (вектор магнітних моментів) всіх електронних молекул рівний нулю. При поглинанні кванта світла молекула хлорофілу переходить на один зі збуджених підрівнів, тобто на більш вищу вільну орбіту. Такий перехід не змінює напрямку електронного спіну і проходить за 10^{-15} с. Якщо електрон, який змінив орбіту, не змінив напрямку спіну, то його спін зберігає протилежний напрям щодо спіну електрона, який залишився на попередній

орбіті. Такі два спіни називають спареними, а молекули із спареними електронними спінами – синглетними. Це означає, що молекула з основного синглетного стану S_0 перейшла в збуджений стан. Відомо, що хлорофіл поглинає як «червоний квант» з довжиною хвилі 660-663 нм (енергія 1,87 еВ), так і «синій квант» з довжиною хвилі 428-430 нм (енергія 2,88 еВ), внаслідок чого молекула переходить в один з двох синглетних станів: S_1 або S_2 [21].

Якщо при переході на вищу орбіту спін змінює свій напрям, то таке збудження називають триплетним (спіни паралельні й сумарний спін рівний одиниці). Час існування збудженої молекули для стану S_1 — $10^{-8} \dots 10^{-9}$ с і для S_1 — 10^{-12} с, після чого молекула повертається в попередній незбуджений стан. Це може відбуватися наступним чином: виділенням тепла, переходом у Т-триплетний стан; міграцією енергії, флуоресценції, а також за рахунок фотохімічної реакції.

Перша фотофізична стадія починається з поглинання світла хлорофілом. Кожна молекула хлорофілу поглинає 4 - 40 квантів за секунду. Міграція енергії забезпечує збір квантів світла світлозбираючим комплексом і транспортування їх до молекул хлорофілу, які пов'язані з фотохімічною реакцією.

Фотосинтетична одиниця (ФСО) – це комплекс пігментів, що бере участь у поглинанні, збиранні квантів та передачі їх спеціалізованим молекулам хлорофілу. Більшість пігментів, які складають ФСО, утворюють функціонально активний комплекс, який називається реакційним центром. Згідно з [1] хлорофіл реакційних центрів грає основну роль у перетворенні сонячної енергії. У хлоропластах вищих рослин існують дискретні одиниці організації пігментів – фотосистеми, які поділяють на два типи: фотосистема один (ФС I) і фотосистема два (ФС II), у складі яких хлорофіл бере участь у реакціях світлової стадії фотосинтезу [20, 21, 24].

Комплекс ФС I забезпечує фотоіндуковане окиснення пластоціаніну, відновлення ферредоксину та генерацію асиметричного трансмембранного розподілу електричних зарядів.

Комплекс ФС II здатний поглинати світло, окислювати воду, відновлювати пластохінон та забезпечувати асиметричний трансмембранний розподіл електричних зарядів і генерувати хімічний потенціал іонів водню.

Шлях переносу електрона у двох фотосистемах називається Z-схемою, або нециклічним транспортом електронів. Реакційні центри фотосистем виконують фотохімічні реакції. Результатом нециклічного транспорту електронів є поява кофермента никотинамидадениндинуклеотидфосфату НАДФ*Н, розклад води та виділення кисню, а також фотофосфорилування. Останній процес це частковий випадок процесу фосфорилування – процесу, під час якого фосфат приєднується до будь-якої сполуки. У даному випадку енергія збудженого електрона використовується для приєднання неорганічного фосфату до нуклеотиду аденозиндифосфату (АДФ), в результаті чого синтезується нуклеотид АТФ. Крім того, у ФС I відбувається циклічний транспорт електронів, його результатом є синтез АТФ, однак НАДФ*Н при цьому не утворюється.

Темнова фаза фотосинтезу. Ланцюг фотосинтетичних ферментативних реакцій, що проходять у хлоропластах і в результаті яких відбувається фіксація та відновлення CO_2 в темновій фазі фотосинтезу, називається циклом Кальвіна (відновлючий пентозофосфатний цикл (ВПФ-цикл)) [20, 21].

У цих реакціях використовуються продукти світлових реакцій НАДФ*Н і АТФ, фотохімічні реакції при цьому не відбуваються. Світлові стадії можуть непрямим шляхом впливати на цикл Кальвіна.

На кожні три молекули CO_2 , які включаються в цикл Кальвіна, утворюється одна молекула продукту тріозофосфату. Він може перетворюватись на крохмаль, сахарозу та інші продукти фотосинтезу, а також використовуватись для регенерації акцептора CO_2 , стимулюючи тим самим утворення проміжних продуктів. В процесі циклу 6 молекул діоксиду вуглецю CO_2 перетворюються в фруктозо-6-фосфат, використовуючи для цього 12 молекул коферменту НАДФ*Н та 18 молекул нуклеотиду АТФ. Реальні витрати дещо більші в зв'язку з процесом фотодихання.

Далі в фотосинтезуючих клітинах фіксований CO_2 перетворюється на 2 основних вуглеводи – цукрозу і крохмаль. Цукроза переноситься до ділянок швидкого росту та до насіння, яке розвивається. Крохмаль накопичується в хлоропластах у вигляді зерен, а потім перетворюється в цукрозу та виноситься з клітин. Для синтезу крохмалю використовується фруктозо-6-фосфат, який виводиться з циклу Кальвіна і перетворюється спочатку в глюкозо-6-фосфат, потім в глюкозо-1-фосфат і далі в АДФ-глюкозу, яка перетворюється в амілозу. Цукроза синтезується в цитоплазмі [20].

Слід зазначити, що цикл Кальвіна, функціонує у вищих рослинах, водоростей та фототрофних бактерій, тобто у так званих рослинах типу C_3 . Однак існують додаткові шляхи фіксації вуглекислого газу, які полегшують роботу ВПФ-циклу. Вони функціонують у рослинах типу C_4 . Рослини типу C_3 відрізняються від рослин типу C_4 тим, що у рослин типу C_3 первинним продуктом темної фази фотосинтезу є тривуглецеві сполука – фосфогліцерінова кислота, тоді як у рослин типу C_4 – 4-вуглецеві сполуки – щавлеоцтові, яблучні, аспарагінова кислоти (так звані C_4 -дикарбовані кислоти). Крім того листки багатьох рослин типу C_4 відрізняються від типу C_3 своєю анатомічною будовою.

Додаток Б

Опис параметрів кривої ІФХ

Крива флуоресценції хлорофілу складається з двох часових фаз або стадій, які розділяються у відповідності з точками перегину. Перша швидка стадія (до сотні мілісекунд) ОІР, де (О – origin) – перший мінімальний вимірний рівень флуоресценції, J і I – проміжні перегини, Р (peak) – пік. Друга повільна стадія (від секунд до десятків хвилин) позначається PSMT, де S (semi-steady) – проміжний стаціонарний стан, М – максимум, Т (terminal) – кінцевий стаціонарний рівень. Кінетика флуоресценції хлорофілу в загальному випадку обернена, якщо перед наступним виміром зразки знаходилися в темноті на протязі 15-30 хв. Лише після розробки РАМ-флуориметрів з'явилася можливість отримувати кількісну інформацію про процеси, які проходять під час повільної фази. Крім основних точок перегину в певних умовах спостерігаються додаткові точки.

Характерні моменти часу визначених фаз відповідають певним групам реакцій, які проходять в цей час. Більшість дослідників погоджуються, що фаза ОJ (0-2 мс) відображає кінетику фотовідновлення Q_A в активних центрах фотосистеми II і вплив на неї різноманітних гасників (молекул за рахунок яких відбувається зменшення виходу флуоресценції). Відповідно до теорії Дайенса і Свірса вважається, що відновлення Q_A продовжується до тих пір доки не буде досягнуто максимум F_M , при цьому на форму кривої можуть впливати реакції відновлення пула пластохоннів, а також відновлення подальших переносників в електронтранспортному ланцюгу та електрохімічний потенціал на тилакоїдній мембрані. Максимальний рівень F_M відповідає максимальному відновленню Q_A . На основі аналізу амплітуд і характерних часів фаз ІФХ можна оцінювати ефективність електронного транспорту в фотосистемі II, а також вплив інгібіторів та мутацій.

Аналіз кінетики ІФХ довгий час проводився простим візуальним порівнянням контрольної кривої з кривими, які отримані при різноманітних

впливах. В подальшому на основі теорії енергетичних потоків була виконана спроба формалізації аналізу кінетики ІФХ і запропоновано метод розрахунку характеристик цих потоків (ІР-тест) [24, 25] на основі значень амплітуд фаз індукційної кривої. Використовуючи значення амплітуд, які визначаються в фіксовані моменти часу, а також нахил кривої в початковий момент часу, можна розрахувати різноманітні характеристики, які визначають ефективність первинних реакцій переноса електронів. Запропонований Штрассером метод визначення фаз індукційних кривих є напівемпіричним, що суттєво обмежує область його використання, оскільки характерні часи індивідуальних фаз індукційної кривої не є фіксованими і залежать як від об'єкта дослідження, так і від умов експерименту.

Крива ОІР (до сотень мілісекунд) в загальному випадку представляється на логарифмічній шкалі часу оскільки фази О-І, І-І, І-Р мають відмінну кінетику. Для порівняння кінетик відмінних зразків криві нормують. Існує два основних способи:

- 1) просте нормування на F_0 , при якому використовують відношення F_t/F_0 (де F_t – флуоресценція в час t), яке рівне від 1 до 5;
- 2) подвійне нормування, тобто на F_0 та F_m , яке дає відносну змінну флуоресценцію в час t , $V(t)=(F_t-F_0)/(F_m-F_0)=\Phi F(t)$, де $\Phi F(t)$ – вихід флуоресценції (змінюється від 0 до 1).

Ненормовані величини флуоресценції в точках перегинання також використовуються для розрахунку додаткових параметрів флуоресценції, які більш повно характеризують фотосинтетичні зразки, які досліджуються.

Відповідно до [23] важливо отримати значення F_0 , оскільки підвищене значення F_0 призведе до скорочення сигмоїдальної частини ділянки О-І, що може бути неправильно інтерпретовано як знижена екситона зв'язаність ФСІІ чи навіть її відсутність.

Висока температура призводить до виникнення нової точки перегину або максимуму (при $\sim 0,3$ мс в кінетиці ОІР), який позначається К. При тепловому стресі після етапу К флуоресценція знижується, а перегини І та І

зникають, більш того виникає другий максимум еквівалентний Р в момент 0,2-2 с. Фазу J-I-P кривої ІФХ (час ~ 200 мс при насичуючому світлі) також інколи називають "тепловою" фазою швидкої стадії ОЛР, оскільки показано, що вона більш чутлива до зміни температури і зникає при температурах нижче нуля. При цьому дана фаза менш залежить від змін інтенсивності світла, ніж фаза О-І.

Додаток В

Опис комп'ютерних портативних приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу

Прилади фірми Hansatech Instruments. Фірма Hansatech Instruments (Велика Британія) [44] випускає два типи приладів для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу: імпульсно-модульовані флуорометри (FMS I, FMS II) та способом неперервної флуоресценції (Handy PEA, Pocket PEA, M-PEA). З них портативними є лише прилади Handy PEA та Pocket PEA.

Handy PEA (рис. В.1) – флуорометр, який має можливість зберігати до 5 визначених програм вимірювання для різних областей застосування. Програми можуть бути написані за допомогою програмного забезпечення PEAPlus, яке поставляється фірмою Hansatech і дозволяє створити тести з довільними періодами попереднього освітлення зразків і завантажити їх через інтерфейс RS-232 в пам'ять приладу Handy PEA. Використання програм забезпечує максимум відтворюваності результатів під час використання у полі, де передбачено великий обсяг досліджень. Збережені дані можуть бути відображені на екрані в числовому форматі з розрахованими параметрами або передані до програмного забезпечення Handy PEA, де можуть бути відображені у графічному режимі. Кількість файлів з даними, які може зберігати прилад, рівна 1000.



Рисунок В.1 – Зовнішній вигляд приладу Handy PEA

Pocket PEA (рис. В.2) – це флуориметр, який може використовуватися для навчання, досліджень та широкого кола комерційних прикладних задач. Операції повністю автоматизовані: від зняття даних до відображення на екрані приладу параметрів флуоресценції хлорофілу в тому числі індексу продуктивності. Передбачено можливість проведення виміру впродовж однієї секунди. Пам'ять приладу може зберігати до 200 вимірів. Прилад оснащений модулем безпроводного зв'язку Bluetooth. Програмне забезпечення PEA Plus Mobile розроблене для кишенькового персонального комп'ютера і дозволяє зберегти та переглянути параметри в обмеженому режимі.



Рисунок В.2 – Зовнішній вигляд приладу Pocket PEA.

Прилади фірми Photon Systems Instruments (Чехія). Компанія Photon Systems Instruments [49] представляє ряд інструментів для дослідження флуоресценції:

- FluorCams – великі стаціонарні флуориметри, які вимірюють послідовності зображень флуоресценції хлорофілу за спеціальною методикою. Флуоресцентне випромінювання ініціюється двома (або більше) панелями із світлодіодів. Зображення флуоресценції фіксується за допомогою камери з роздільною здатністю в 512x512 (640x640, 1392x1040) пікселів. Може бути збережено до 50 зображень в секунду. Прилад використовується для визначення динаміки і просторової неоднорідності, а параметри флуоресценції розраховуються;
- модуляційні флуориметри серії FL 3500 вимірюють сигнал флуоресценції хлорофілу з часовою роздільною здатністю до 1 мкс або 4 мкс в залежності від моделі. Існує можливість використання методу амплітудно-імпульсної

модуляції. Головна відмінність від інших приладів у тому, що прилад може генерувати актиничні спалахи високої потужності. Прилади можуть використовуватися для вимірювання параметрів флуоресценції фотосинтетично активних зразків, суспензій рослин, листя, коралів та морських водоростей;

- портативні прилади для вимірювання параметрів флуоресценції, параметрів відбиття, фотосинтетично-активної радіації, кількості світла в заданому діапазоні, величини оптичної густини в суспензіях.

Серія приладів FluorPen (рис. В.3) представлена дев'ятьма приладами для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу, які відрізняються комплектацією, кількістю параметрів, які вимірюються, та способом передачі даних (USB або Bluetooth).



Рисунок В.3 – Зовнішній вигляд приладу FluorPen FP 110

Існує чотири види кліпс: стандартна кліпса для листка для вимірів з короткою темною адаптацією, відкрита кліпса для вимірів, коли не потрібна темнова адаптація, тримачі для різних видів зразків (моху, лишайників та інших нестандартних матеріалів), накладна кліпса (для вимірів з довгою темною адаптацією).

Прилади фірми "Opti-Science" (США). Фірмою [47] розроблено та виготовляється ряд модуляційних флуометрів для швидкого визначення стресу рослин: OS5p+, OS1p, OS-30p+.

Прилад OS1p (рис. В.4) містить кольоровий сенсорний екран, USB-порт, карту пам'яті MMC/SD для зберігання і переносу даних. Прилад оснащений

кліпсою, яка містить датчик для вимірювання випромінювання оточуючого освітлення або внутрішнього актиничного випромінювання. Прилад містить твердотільний терморезистор для вимірювання температури листа.



Рисунок В.4 – Зовнішній вигляд кліпси приладу OS1p

Флуориметр OS-30p+ (рис. В.5) призначений для перевірки фотохімічної ефективності. Прилад містить вбудований оптичний датчик, що дозволяє використовувати його в ручному режимі. Містить кліпсу, яку можна використовувати для попередньої темної адаптації і яка дозволяє проводити вимірювання не пошкоджуючи структуру листа. Індукована флуоресценція вимірюється фотодіодом на довжині хвилі більшій 700 нм. Інтенсивність збудження та час вимірювання обирається користувачем.



Рисунок В.5 – Зовнішній вигляд приладу OS-30p+

Портативні флуорометри фірми Heinz Walz GmbH (Німеччина). Фірмою Gademann Instruments сумісно з Ульріхом Шрайбером та Heinz Walz GmbH [48] розроблено флуориметри, робота яких базується на імпульсно-амплітудній модуляції. Фірма виробляє ряд приладів для вимірювання флуоресценції хлорофілу, зокрема для навчання, для аналізу фітопланктону, для роботи під водою, портативні прилади, серія приладів для отримання зображення параметрів флуоресценції, системи для аналізу флуоресценції та додаткових параметрів, портативна система для визначення газообміну та флуоресценції. Розглянемо портативні прилади.

РАМ-2500 (рис. В.6) – це флуориметр, який призначений для роботи в полі та лабораторіях. Програмне забезпечення RamWin-3 автоматично розраховує коефіцієнти затухання, ефективний вихід фотохімії фотосистеми II і додаткові виходи дисипації не фотохімічної енергії, а також видиму швидкість транспорту електронів. РАМ-2500 може бути налаштований для вимірювання листя або суспензій.



Рисунок В.6 – Зовнішній вигляд приладу РАМ-2500

Програмне забезпечення RamWin-3, яке поставляється в комплекті з приладом, може працювати в двох режимах: польовому та розширеному. Польовий режим є спрощеним і призначений для використання тільки під час вимірювання. Розширений режим призначений для аналізу отриманих даних, включає аналіз імпульсів насичення, запис кінетики флуоресценції (від швидкої у мікросекундах до повільної у секундах, хвилинах та годинах), а також графічні та аналітичні функції.

MINI-PAM (рис. В.7) – це аналізатор виходу флуоресценції. Основне призначення – оцінка ефективного квантового виходу перетворень фотохімічної енергії. Принцип роботи базується на амплітудно-імпульсному методі. Розрізняють дві версії приладу: червону та синю, які відрізняються лише кольором модульованого світла збудження. Обидві версії використовують волоконну оптику для направлення збуджуючого світла на зразок і фіксації флуоресценції.



Рисунок В.7 – Прилад MINI-PAM

MONITORING-PAM (рис. В.8) – це багатоканальний флуориметр для постійного одночасного відстеження параметрів флуоресценції хлорофілу декількох зразків у польових умовах та під водою. Одночасно можуть використовуватися до семи сенсорів. Наявні два типи сенсорів, розроблені для довготривалого використання в полі та під водою. Кожний сенсор оснащений синім світлодіодом для забезпечення модульованого випромінювання збудження флуоресценції. Максимальна відстань від сенсора до базового блоку 10 м. Компоненти водонепроникні та захищені від впливу навколишнього середовища.

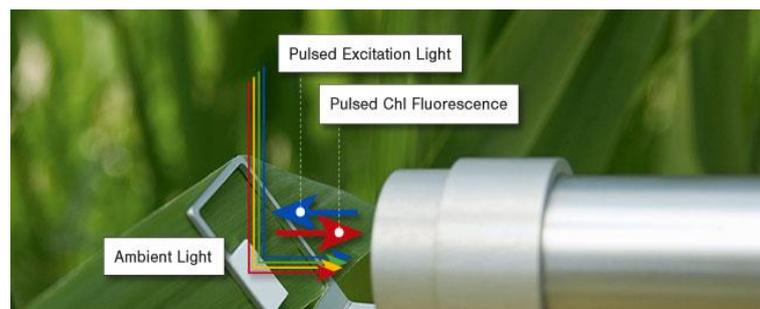


Рисунок В.8 – Кліпса приладу MONITORING-PAM

Розрізняють водну та наземну версії, додатково розрізняють on-line та автономну конфігурації приладу. Для on-line версії необхідне постійне джерело живлення, а автономна версія призначена для довготривалого спостереження фотосинтезу у віддалених місцях при відсутності джерел живлення. За допомогою телефонного або супутникового модему дані можуть бути передані до віддаленого комп'ютера з часовою затримкою. Живлення може здійснюватися від сонячної батареї.

Додаток Г
Опис портативного приладу
для експрес-діагностики інфекційних захворювань
базі ППР-сенсору сімейства «Spreeta»
(науково-дослідний проєкт ІК НАН України)

На рис. Г.1 зображено структурну схему портативного біосенсорного приладу. Вона містить призму з чутливою поверхнею 1 (Spreeta TSPR 1A170100 виробництва фірми Texas Instrument), вихід якої зв'язаний зі входом аналого-цифрового перетворювача 2, а його вихід зв'язаний з мікропроцесорним блоком електронної обробки 3, один вихід якого під'єднаний до матричного індикатора 4, а другий вихід під'єднаний до входу радіопередавача 5, вихід якого є виходом приладу. Прилад працює наступним чином.



Рисунок Г.1 – Структурна схема інтелектуального портативного біосенсору

Спочатку на чутливій поверхні призми 1 знаходиться тільки шар аналіту з антигенами, наприклад, пташиного грипу. Призма з чутливою поверхнею 1 перетворює оптичний сигнал кута заломлення у відповідну послідовність імпульсів різної амплітуди, яка з виходу призми з чутливою поверхнею 1

поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача 2, з виходу якого поточні значення кодів, пропорційні кривій поверхневого плазмонного резонансу, покроково переносяться до мікропроцесорного блоку електронної обробки 3 і запам'ятовуються в ньому.

Для виміру концентрації антитіл на чутливу поверхню призми 1 з шаром аналізу наносять краплину крові птахи і повторюють процедуру виміру. Якщо у досліджуваній рідині знаходяться антитіла, то відповідно до реакції "антиген-антитіло" відбудеться з'єднання вірусів з антитілами і кут заломлення оптичного сигналу в призмі з чутливою поверхнею 1 буде змінений. Новий кут заломлення перетворюється призмою з чутливою поверхнею 1 у пропорційну послідовність імпульсів різної амплітуди, яка з виходу призми з чутливою поверхнею 1 поступає на вхід аналого-цифрового перетворювача 2, з виходу якого поточні значення кодів, пропорційні новій кривій поверхневого плазмонного резонансу, покроково переносяться до мікропроцесорного блоку електронної обробки 3. Блок електронної обробки 3 вираховує зсув між двома кривими поверхневого плазмонного резонансу, які було отримано протягом двох вимірів і перетворює його в цифровий код. Цей код є пропорційним концентрації вірусів, наприклад, пташиного грипу у досліджуваній рідині. Якщо зсув між двома цими кривими відсутній, це означає, що у досліджуваній крові немає антитіл. Дані про наявність чи відсутність антитіл у досліджуваній крові птахи виносяться на матричний індикатор 4, а також за допомогою радіопередавача 5 передаються у відповідний медичний центр.

При реалізації пристрою використані електронні вузли та компоненти, що випускаються серійно. На рис. Г.2 зображено функціональну електричну схему портативного біосенсору.

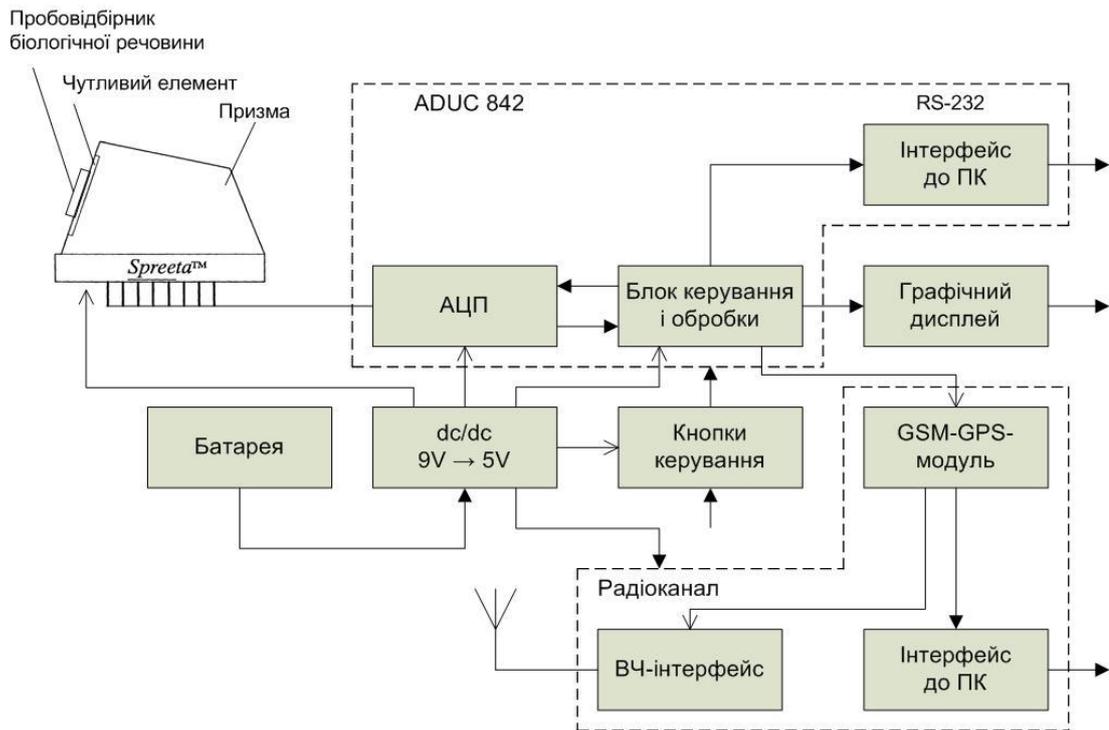


Рисунок Г.2 – Функціональна електрична схема портативного біосенсору з радіоканалом для експрес-діагностики захворюваності на пташиний грип та інші гострі вірусні інфекції

Для побудови призми з чутливою поверхнею використовується лабораторія на кристалі Spreeta TSPR 1A170100 виробництва фірми Texas Instruments (США), для побудови аналого-цифрового перетворювач разом з мікропроцесорним електронним блоком обробки – мікроконвертер ADuC842 виробництва компанії Analog Devices (США), для побудови матричного індикатору – дисплей FDCG12864 виробництва фірми Fordata (КНР) і для побудови радіопередавача – мініатюрний GE863-GPS модуль виробництва фірми Telit.

Додаток Д

Тестова крива індукції флуоресценції хлорофілу

Таблиця Д – Тестова крива індукції флуоресценції хлорофілу.

Дата виміру: 16.07.2012, рослина «Огірки»

№	Час, мс	ІФХ	№	Час, мс	ІФХ	№	Час, мс	ІФХ
1	1	48	31	491,67	2048	61	15487,16	2096
2	1,36	512	32	566,98	2112	62	16994,39	2032
3	1,82	576	33	652,18	2176	63	18628,44	1968
4	2,42	624	34	748,39	2224	64	20398,35	1904
5	3,19	672	35	856,8	2256	65	22313,69	1840
6	4,16	704	36	978,7	2288	66	24384,58	1776
7	5,38	720	37	1115,52	2320	67	26621,74	1696
8	6,9	752	38	1268,78	2352	68	29036,46	1632
9	8,78	784	39	1440,17	2384	69	31640,7	1584
10	11,1	816	40	1631,48	2400	70	34447,08	1536
11	13,93	864	41	1844,67	2416	71	37468,87	1472
12	17,39	896	42	2081,85	2448	72	40720,12	1424
13	21,57	960	43	2345,3	2480	73	44215,6	1360
14	26,6	1008	44	2637,47	2496	74	47970,86	1312
15	32,63	1072	45	2961	2512	75	52002,28	1264
16	39,83	1136	46	3318,74	2512	76	56327,09	1216
17	48,38	1200	47	3713,74	2512	77	60963,39	1168
18	58,5	1264	48	4149,28	2464	78	65930,25	1120
19	70,42	1344	49	4628,88	2400	79	71247,64	1072
20	84,41	1408	50	5156,29	2400	80	76936,56	1040
21	100,78	1472	51	5735,56	2400	81	83019,04	1008
22	119,86	1520	52	6371	2400	82	89518,2	976
23	142,03	1552	53	7067,19	2368	83	96458,27	944
24	167,7	1584	54	7829,07	2352	84	103864,6	912
25	197,35	1632	55	8661,87	2336	85	111763,9	896
26	231,49	1664	56	9571,17	2304	86	120183,9	880
27	270,69	1712	57	10562,93	2272	87	129153,9	864
28	315,58	1776	58	11643,47	2240	88	138704,2	848
29	366,85	1872	59	12819,52	2192	89	148866,9	832
30	425,27	1952	60	14098,22	2144	90	159675,2	816

Додаток Е

Результати розрахунку коефіцієнтів кореляції

Таблиця Е1 – Значення коефіцієнтів кореляції для дослідів над рослиною сої (температура повітря)

Параметр	Температура повітря, °С						
	2015 рік				2016 рік		
	V1	V2	V3	V4	W1	W2	W3
F ₀	0,836	0,907	0,926	0,813	0,1329	0,542773	0,250687
F _j	0,831	0,884	0,84	0,811	0,099862	0,575744	0,233122
F _i	0,587	0,63	0,817	0,302	-0,62561	-0,20534	-0,5476
F _{st}	-0,247	0,091	0,278	-0,323	-0,55932	-0,00218	-0,77432
F _m	-0,067	0,087	0,71	0,574	-0,7403	-0,50884	-0,5422
F _v	-0,24	-0,101	0,689	0,462	-0,7902	-0,53169	-0,53104
F _v /F _m	-0,794	-0,875	-0,033	-0,764	-0,56574	-0,55437	-0,35841
Area	-0,49	-0,686	0,48	0,288	-0,43322	-0,42109	-0,29684
R _{fd}	0,228	-0,118	0,665	0,464	-0,12598	-0,50374	0,310389

Таблиця Е2 – Значення коефіцієнтів кореляції для дослідів над рослиною соя (температура ґрунту)

Параметр	Температура ґрунту, °С						
	2015 рік				2016 рік		
	V1	V2	V3	V4	W1	W2	W3
F ₀	0,648	0,815	0,84	0,605	-0,271	0,344	-0,12002
F _j	0,672	0,829	0,79	0,6	-0,276	0,435	-0,11503
F _i	0,443	0,735	0,909	0,059	-0,68	0,0587	-0,6741
F _{st}	-0,503	0,229	0,091	-0,376	-0,747	0,0223	-0,61772
F _m	-0,495	0,242	0,878	0,387	-0,875	-0,588	-0,39968
F _v	-0,616	0,076	0,872	0,296	-0,857	-0,575	-0,35014
F _v /F _m	-0,771	-0,724	0,376	-0,575	-0,2452	-0,46968	-0,06439
Area	-0,699	-0,562	0,769	0,394	-0,689	-0,6156	-0,19583
R _{fd}	0,356	-0,212	0,842	0,55	-0,00129	-0,63841	0,291143

Таблиця Е3 – Значення коефіцієнтів кореляції для дослідів над рослиною соя (вологість повітря)

Параметр	Вологість повітря, %						
	2015 рік				2016 рік		
	V1	V2	V3	V4	W1	W2	W3
F ₀	-0,352	-0,292	-0,722	-0,248	0,104631	0,146865	-0,03229
F _j	-0,347	-0,235	-0,637	-0,238	0,147858	0,013773	-0,08606
F _i	-0,164	0,021	-0,459	0,008	0,486665	0,31584	0,161779
F _{st}	0,655	0,49	-0,543	0,445	0,7647	0,098366	0,703363
F _m	0,101	-0,064	-0,307	0,026	0,589679	0,172819	0,433824
F _v	0,172	-0,004	-0,279	0,098	0,591738	0,134421	0,402085
F _v /F _m	0,36	0,266	0,413	0,313	0,188699	-0,01964	0,202332
Area	0,253	0,112	-0,015	0,053	0,40073	0,139193	0,40114
R _{fd}	-0,758	-0,615	-0,225	-0,562	-0,41696	0,138052	-0,27327

Таблиця Е4 – Значення коефіцієнтів кореляції для дослідів над рослиною соя (кислотність)

Параметр	Кислотність, PH						
	2015 рік				2016 рік		
	V1	V2	V3	V4	W1	W2	W3
F ₀	-0,293	-0,493	-0,554	-0,55	-0,62585	-0,24596	-0,11084
F _j	-0,268	-0,517	-0,492	-0,559	-0,67665	-0,14385	-0,09068
F _i	-0,401	-0,382	-0,256	-0,599	-0,71178	-0,13129	0,0964
F _{st}	-0,258	0,09	-0,518	-0,326	-0,6468	0,074223	0,058488
F _m	-0,658	-0,352	-0,106	-0,647	-0,70196	0,188191	-0,00488
F _v	-0,577	-0,256	-0,078	-0,619	-0,61466	0,202946	0,010545
F _v /F _m	0,05	0,364	0,518	0,421	0,205239	0,233875	0,0724
Area	-0,139	0,264	0,171	0,101	-0,38328	0,098159	-0,14342
R _{fd}	0,109	-0,2	-0,035	0,066	0,108701	0,181208	0,003166

Таблиця Е5– Значення коефіцієнтів кореляції для дослідів над рослиною соя (вологість ґрунту)

Параметр	Вологість ґрунту, відн. од.						
	2015 рік				2016 рік		
	V1	V2	V3	V4	W1	W2	W3
F ₀	0,101	0,508	0,57	0,429	0,643835	0,376762	0,019787
F _j	0,081	0,558	0,517	0,451	0,622861	0,290502	-0,01465
F _i	0,302	0,664	0,309	0,582	0,450144	0,05259	-0,14227
F _{st}	0,492	0,317	0,591	0,538	0,551574	0,051863	-0,0123
F _m	0,557	0,168	0,175	0,733	0,618669	-0,28864	0,080758
F _v	0,519	0,065	0,148	0,753	0,525207	-0,3112	0,071353
F _v /F _m	0,086	-0,448	-0,398	-0,232	-0,26498	-0,3543	0,025482
Area	0,184	-0,599	-0,089	0,009	0,510423	-0,1825	0,232915
R _{fd}	-0,436	-0,333	0,075	-0,277	-0,05384	-0,33419	0,022914





Додаток И

Результати розрахунку параметрів моделей ІФХ

Таблиця И 1– Таблиця дисперсійного аналізу для дослідів над рослиною огірки

Дата	16.07.2012			18.07.2012		
Група	w1	w2	w3	w1	w2	w3
Параметр						
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
$S_{\hat{y}}$	55,15	80,14	64,83	62,04	60,45	61,95
F	1346,01	1161	947,29	1843,47	1179,68	1113,55
DFE	82	84	82	84	82	82
SSM	28654228	37278239	27871443	35479871	30176665	29918526
SSE	249377,46	539428,16	344659,44	323337,02	299656,65	314736,01
MSE	3041,19	6421,76	4203,16	3849,25	3654,35	3838,24
Дата	20.07.2012			23.07.2012		
Група	w1	w2	w3	w1	w2	w3
Параметр						
R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
$S_{\hat{y}}$	66,34	63,09	69,07	59,69	65,24	78,82
F	1222,34	1584,65	1651,81	1950,44	1545,4	1128,29
DFE	84	84	84	84	84	84
SSM	26899971	31537029	39400588	34750095	32887363	35045009
SSE	369718,17	334345,45	400730,84	299317,16	357518,22	521812,85
MSE	4401,41	3980,3	4770,61	3563,3	4256,17	6212,06
Дата	24.07.2012			26.07.2012		
Група	w1	w2	w3	w1	w2	w3
Параметр						
R^2	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98
$S_{\hat{y}}$	82,1	66,95	74,16	88,09	70,18	92,17
F	1233,43	1627,04	1373,65	1145,85	1352,77	932,04
DFE	84	84	84	85	84	84
SSM	41568678	36461459	37769456	35567481	33312143	39587572
SSE	566188,52	376483,64	461926,15	659608,2	413701,32	713567,01
MSE	6740,34	4481,95	5499,12	7760,1	4925,02	8494,85

Продовження таблиці И 1

Дата		27.07.2012			30.07.2012		
Група	Параметр	w1	w2	w3	w1	w2	w3
		R^2	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99
$S_{\hat{y}}$	64,63	59,43	99,29	71,1	67,43	54,97	
F	1805,41	1459,29	847,07	1902,89	1531,07	2306,89	
DFE	85	84	85	85	84	84	
SSM	30160474	25769173	33405806	38482125	34805663	34853363	
SSE	354993,74	296666,35	838033,37	429739,3	381913,45	253820,54	
MSE	4176,4	3531,74	9859,22	5055,76	4546,59	3021,67	
Дата		01.08.2012					
Група	Параметр	w1	w2	w3			
		R^2	0,98	0,99	0,97		
$S_{\hat{y}}$	85,97	62,18	113,56				
F	1268,65	2760,46	778,07				
DFE	85	86	85				
SSM	37503760	32019614	40133651				
SSE	628190,6 2	332515,22	1096097,1				
MSE	7390,48	3866,46	12895,26				

Таблиця И 2– Параметри моделі для дослідів над рослиною огірки

Група	Дата	16.07.2012							
w1	b_i	470,62	-9,23E-08	-0,93	10,16	2,48E-10	-0,001	0,043	1,38E-05
	s_i	27,68205	1,69E-08	0,135051	1,136359	4,89E-11	0,00017	0,006661	2,36E-06
w2	b_i	572,498	1,21E-09	-0,049	3,28				
	s_i	27,8918	2,67E-10	0,012891	0,270415				
w3	b_i	505,93	-8,29E-08	-0,825	9,234	2,238E-10	-0,0009	0,0378	1,23E-05
	s_i	32,54354	1,99E-08	0,158768	1,335925	5,75E-11	0,0002	0,007831	2,78E-06
Група	Дата	18.07.2012							
w1	b_i	450,284	38,755	0,068	-2,83E-12	-0,0022	1,798E-05		
	s_i	31,08985	3,260595	0,006888	3,55E-13	0,000194	1,6E-06		
w2	b_i	495,85	-9,8E-08	-1,019	11,088	2,62E-10	-0,001	0,046	1,47E-05
	s_i	30,34462	1,85E-08	0,148041	1,245659	5,36E-11	0,000186	0,007302	2,59E-06
w3	b_i	498,01	-8,46E-08	-0,9067	10,256	2,24E-10	-0,00099	0,041	1,28E-05
	s_i	31,09875	1,9E-08	0,15172	1,276616	5,5E-11	0,000191	0,007483	2,65E-06

Продовження таблиці И 2

Група	Дата	20.07.2012					
w1	b_i	592,96	1,412E-09	-0,0378	2,616	-1,00E-11	-3,00E-06
	s_i	22,11534	3,59E-10	0,005997	0,17035	2,39E-12	1,68E-06
w2	b_i	447,373	1,75E-09	45,256	0,0335	-1,27E-11	-0,0008
	s_i	29,94625	1,58E-10	2,830499	0,004271	1,24E-12	7,88E-05
w3	b_i	503,73	40,768	0,0805	-3,859E-12	-0,003	2,23E-05
	s_i	34,61125	3,629907	0,007668	3,95E-13	0,000216	1,78E-06
Група	Дата	23.07.2012					
w1	b_i	466,114	47,011	0,056	-2,85E-12	-0,002	1,675E-05
	s_i	29,91278	3,137148	0,006627	3,42E-13	0,000187	1,54E-06
w2	b_i	458,13	-5,57E-10	43,98	0,068	-0,002	2,319E-05
	s_i	33,27302	6,66E-11	3,605046	0,008306	0,000251	2,35E-06
w3	b_i	499,65	-1,45E-09	42,76	0,055	-0,00156	2,407E-07
	s_i	38,95142	1,73E-10	3,97204	0,007422	0,000167	2,65E-08
Група	Дата	24.07.2012					
w1	b_i	429,86	39,25	-2,78E-12	1,6117	1,341E-05	-0,00127
	s_i	46,99956	6,983354	3,6E-13	0,252256	1,26E-06	0,000113
w2	b_i	424,195	34,569	1,613	-3,969E-10	-0,0013	1,48E-05
	s_i	39,02635	5,989822	0,224691	4,99E-11	0,000113	1,44E-06
w3	b_i	429,683	7,936E-10	30,847	-0,044	2,2679	-6,16E-12
	s_i	43,22635	9,35E-11	6,770127	0,003803	0,293342	8,24E-13
Група	Дата	26.07.2012					
w1	b_i	639,98	2,343E-07	2,5	-0,0011	-1,48E-09	
	s_i	23,56537	1,24E-08	0,060378	4,02E-05	9,3E-11	
w2	b_i	488,136	1,057E-07	14,7	-0,066	3,285	-7,49E-10
	s_i	42,66886	9,72E-09	7,206757	0,005011	0,341778	7,75E-11
w3	b_i	586,99	8,725E-08	-0,06	3,789		
	s_i	32,7889	2,32E-08	0,01798	0,350115		
Група	Дата	27.07.2012					
w1	b_i	547,3	-1,23E-09	2,257	-0,00099	1,98E-07	
	s_i	17,28787	6,82E-11	0,044294	2,95E-05	9,08E-09	
w2	b_i	423,387425	1,1722E-09	52,2	-8,917E-12	0,402	-0,00039
	s_i	32,17858	1,09E-10	4,310604	8,93E-13	0,13643	3,26E-05
w3	b_i	616,278	1,412E-07	2,33970228	-6,82E-12	-0,00099	
	s_i	26,13288	7,47E-09	0,062369	4,84E-13	3,68E-05	

Продовження таблиці И 2

Група	Дата	30.07.2012					
w1	b_i	385,604	45,112	-0,058	1,999	0,0003	
	s_i	40,11858	6,036915	0,004408	0,26767	2,4E-05	
w2	b_i	436,5	6,515E-10	39,525	-0,037	-4,99E-12	1,715
	s_i	39,30472	8,51E-11	6,155921	0,003458	7,49E-13	0,266729
w3	b_i	409,916	46,253	0,038	1,565E-07	-0,001	-9,04E-10
	s_i	27,16623	2,770254	0,005176	1,85E-08	0,000116	1,21E-10
Група	Дата	01.08.2012					
w1	b_i	259,653	4,32E-13	76,573			
	s_i	32,74217	2,42E-13	2,02958			
w2	b_i	239,08	73,968	-0,0132	6,84E-09		
	s_i	20,89591	1,021691	0,000263	2,69E-10		
w3	b_i	257,038	7,47E-13	68,467			
	s_i	56,88388	7,85E-14	6,817007			

Додаток К

Дані для тестування програмного засобу

Таблиця К – Тестові відповіді на питання

№	%		0	25	50	75	100
	№						
1	1		погане	задовільне	добре	дуже гарне	прекрасне
2	2		набагато гірше	трохи краще	так само, як і тоді	трохи гірше	набагато краще
3	3	а)	Так, дуже перешкоджає	Ні, не перешкоджає зовсім	Так, перешкоджає помірно	Так, дуже перешкоджає	Ні, не перешкоджає зовсім
4		б)	Так, дуже перешкоджає	Так, перешкоджає помірно	Так, перешкоджає помірно	Так, перешкоджає помірно	Ні, не перешкоджає зовсім
5		в)	Так, дуже перешкоджає	Ні, не перешкоджає зовсім	Так, перешкоджає помірно	Так, дуже перешкоджає	Ні, не перешкоджає зовсім
6		г)	Так, дуже перешкоджає	Так, дуже перешкоджає	Так, перешкоджає помірно	Ні, не перешкоджає зовсім	Ні, не перешкоджає зовсім
7		д)	Так, дуже перешкоджає	Так, дуже перешкоджає	Так, перешкоджає помірно	Ні, не перешкоджає зовсім	Ні, не перешкоджає зовсім
8		е)	Так, дуже перешкоджає	Так, дуже перешкоджає	Так, перешкоджає помірно	Ні, не перешкоджає зовсім	Ні, не перешкоджає зовсім
9		є)	Так, дуже перешкоджає	Так, дуже перешкоджає	Так, перешкоджає помірно	Ні, не перешкоджає зовсім	Ні, не перешкоджає зовсім
10		ж)	Так, дуже перешкоджає	Так, дуже перешкоджає	Так, перешкоджає помірно	Ні, не перешкоджає зовсім	Ні, не перешкоджає зовсім
11		з)	Так, дуже перешкоджає	Так, дуже перешкоджає	Так, перешкоджає помірно	Ні, не перешкоджає зовсім	Ні, не перешкоджає зовсім
12		і)	Так, дуже перешкоджає	Так, дуже перешкоджає	Так, перешкоджає помірно	Ні, не перешкоджає зовсім	Ні, не перешкоджає зовсім
13	4	а)	Так	Так	Так	Так	Ні
14		б)	Так	Так	Так	Ні	Ні
15		в)	Так	Так	Ні	Ні	Ні
16		г)	Так	Ні	Ні	Ні	Ні
17	5	а)	Так	Так	Так	Так	Ні
18		б)	Так	Ні	Ні	Ні	Ні
19		в)	Так	Так	Так	Так	Ні

Продовження таблиці К

№	%		0	25	50	75	100
	№						
20	6		дуже заважали	значно заважали	помірно	дещо заважали	ніскільки
21	7		дуже сильного	сильного	ніякого болю	дуже слабкого	ніякого болю
22	8		надзвичайно перешкоджа в	сильно перешкоджа в	надзвичайно перешкоджа в	зовсім мало	зовсім не перешкоджа в
23	9	а)	ніколи	деякий час	деякий час	часто	увесь час
24		б)	увесь час	увесь час	деякий час	небагато часу	ніколи
25		в)	увесь час	більшість часу	деякий час	небагато часу	ніколи
26		г)	ніколи	небагато часу	деякий час	більшість часу	увесь час
27		д)	ніколи	небагато часу	деякий час	більшість часу	увесь час
28		е)	увесь час	більшість часу	деякий час	небагато часу	ніколи
29		є)	увесь час	більшість часу	деякий час	небагато часу	ніколи
30		ж)	ніколи	часто	деякий час	часто	увесь час
31		з)	увесь час	більшість часу	деякий час	небагато часу	ніколи
32		10		увесь час	більшість часу	деякий час	небагато часу
33	11	а)	цілком вірне	загалом вірне	не знаю	загалом невірне	цілком невірне
34		б)	цілком невірне	загалом невірне	не знаю	загалом вірне	цілком вірне
35		в)	цілком вірне	загалом вірне	не знаю	загалом невірне	цілком невірне
36		г)	цілком невірне	загалом невірне	не знаю	загалом вірне	цілком вірне

Додаток Л

**Список публікацій за темою дисертації та відомості
про апробацію результатів 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 Fedak V., 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.nbuiv.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.nbuiv.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.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/69708>

10. Антонова Г.В., Ковирьова О.В., Лаврентьєв В.М. Графоаналітичний метод аналізу параметрів флуоресценції хлорофілу. *Комп’ютерні засоби, мережі та системи*. 2017. № 16. С. 66–75. URL: <http://dspace.nbuiv.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.nbuiv.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.nbuiv.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 конференцій

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 нефармових 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.nbuv.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.nbuv.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.nbuiv.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>.

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на таких конференціях:

1. the IEEE Workshop on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications" (Дортмунд, Німеччина, 6-8 вересня 2007, стендова доповідь та публікація статті).
2. the IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications" (Прага, Чехія, 15-17 вересня 2011, стендова доповідь та публікація статті).
3. the IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications" (Берлін, Німеччина, 12-14 вересня 2013, стендова доповідь та публікація статті).
4. the IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications" (Мец, Франція, 18-21 вересня 2019, стендова доповідь та публікація статті).
5. the IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications" (Дортмунд, Німеччина, 7-9 вересня 2023, стендова доповідь та публікація статті).
6. The International conference "Information Research and Applications" (Варна, Болгарія, 23 червня – 03 липня 2008, доповідь та публікація статті).
7. The International conference "Information Research and Applications" (Варна, Болгарія, 30 червня – 09 липня 2017, доповідь та публікація статті).

8. The International conference " Information Research and Applications " (Варна, Болгарія, 01 липня – 10 липня 2021, доповідь та публікація статті).
9. 12th International conference on Applied Internet and Information Technologies (Зренянин, Сербія, 14 жовтня 2022, стендова доповідь та публікація статті).
10. Міжнародна науково-технічна конференція "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології" (Одеса, Україна, 2-6 червня 2008, усна доповідь та публікація тез).
11. Міжнародна науково-технічна конференція "Сенсорна електроніка та мікросистемні технології" (Одеса, Україна, 30 травня - 3 червня 2016, усна доповідь та публікація тез).
12. X Міжнародна конференція з біоніки та прикладної біофізики (Київ, Україна, 27 -28 листопада 2008 р., усна доповідь та публікація тез).
13. Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті» (Харків, Україна, 18 - 20 квітня 2011 р., усна доповідь та публікація тез).
14. Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка і молодь у XXI столітті» (Київ, Україна, 14 - 16 квітня 2014 р., усна доповідь та публікація тез).
15. XX міжнародна конференція "Knowledge-Dialogue-Solution" (Київ, Україна, 8 – 10 вересня 2014 р., усна доповідь та публікація тез).
16. Міжнародна конференція з автоматичного управління (Суми, Україна, 19 – 21 вересня 2016 р., усна доповідь та публікація тез).
17. Всеукраїнська науково-практична конференція "Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку" (Київ, Україна, 30 травня 2022 р., публікація тез).
18. International scientific symposium "DigiHealthDay–2020" (Пфарркірхен, Німеччина, 13 листопада 2020, усна доповідь).
19. International scientific symposium "DigiHealthDay–2021" (Пфарркірхен, Німеччина, 12 листопада 2021, постер).

Додаток М

Сертифікати учасника конференції


EUROPEAN CAMPUS
 R O T T A L - I N N

DEGGENDORF
INSTITUTE OF
TECHNOLOGY

PFARRKIRCHEN, GERMANY
DIGIHEALTHDAY-2020
 GLOBAL DIGITAL HEALTH - TODAY, TOMORROW, AND BEYOND

13
NOV
2020

CERTIFICATE OF PRESENTER
 this is to certify that
Ms. Oleksandra Kovyrova
 has presented at virtual DigiHealthDay-2020,
 international scientific symposium hosted by
 Deggendorf Institute of Technology | European Campus Rottal-Inn.


 Head of Organizing Committee
 Prof. Dr. Georgi Chaitikyan





www.th-deg.de/digihealthday

PFARRKIRCHEN, GERMANY

DIGIHEALTHDAY-2021

GLOBAL DIGITAL HEALTH - TODAY, TOMORROW, AND BEYOND

CERTIFICATE OF PRESENTATION

presented to

OLEKSANDRA KOVYROVA

for the session to virtual DigiHealthDay-2021, international scientific symposium
hosted by Deggendorf Institute of Technology | European Campus Rottal-Inn.

Title: Smart Medical Communicator for Estimating Abnormal Uterine Bleeding



Head of Organizing Committee | Prof. Dr. Georgi Chaitikyan





International conference on Applied Internet and
Information Technologies, AIIT 2022
October 14, 2022 – Zrenjanin, Serbia

Certificate of participation

is awarded to

Oleksandra Kovyrova

Glushkov` Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

for presenting the paper entitled “Wearable Sensors and Devices for People under Health Risk”



Conference Chairman

Zeljko Stojanov

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Zeljko Stojanov'.

Додаток Н

Акти впровадження результатів дослідження



Національна академія наук України
 ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ІНЖЕНЕРНИЙ ЦЕНТР
 МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ
 ІНСТИТУТУ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М.ГЛУШКОВА

Проспект Академіка Глушкова, 40, 03680, МСП, Київ-187
 тел./факс: (044) 526 3204, e-mail: naukacenter@gmail.com

ЄДРПОУ 16393645, р/р 26005010062836, АТ "Укресімбанк" м.Києва, МФО 322313

" 16 " листопада 2020 р.

№ 97

АКТ
 про впровадження
 результатів дисертаційного дослідження
 Ковирьової Олександри Валеріївни

Цей акт складено про те, що результати дисертаційної роботи "Моделі і інструментальні засоби експресної діагностики для застосування в біології та медицині" Ковирьової Олександри Валеріївни, а саме, методика організації процесу вимірювання стану рослин та методи опрацювання даних вимірювання, було використано при удосконаленні методичного забезпечення портативних приладів сімейства "Флоратест", які протягом 2015–2020 років випускалися серійно за ліцензійною угодою і поставлялися замовникам як в Україні, так і за кордоном.

Запропоновані Ковирьовою О.В. підходи дали можливість підвищити точність діагностики стану рослин за рахунок методів опрацювання великих масивів даних вимірювання, а також більш оптимально організувати процес багаторазових вимірювань великої кількості рослин.

Директор

(044)526-3204



Сутковий П.Г.

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи Ковирьової Олександри Валеріївни на тему «Моделі і інструментальні засоби експресної діагностики для застосування в біології та медицині» на кафедрі генетики, селекції і насінництва імені проф. М.О. Зеленського Національного університету біоресурсів і природокористування України

Результати дисертаційної роботи О.В. Ковирьової було використано при створенні діючого взірця біосенсору з радіоканалом для експрес-діагностики захворюваності на пташиний грип та інші вірусні інфекції, а саме було проаналізовано параметри новітніх на той час засобів та приладів на основі поверхневого плазмонного резонансудлячих цілей, показано, що портативний прилад для роботи у польових умовах у зонах епідемій може бути створений на основі лабораторії на кристалі Spreeta. Крім того, було доопрацьовано інтерфейс користувача цього приладу.

Діючий взірець біосенсору з радіоканалом для експрес-діагностики захворюваності на пташиний грип та інші вірусні інфекції було передано для дослідної експлуатації на кафедру генетики, селекції і насінництва імені проф. М.О. Зеленського Національного університету біоресурсів і природокористування України у 2015 році.

Професор Національного університету
біоресурсів і природокористування України
Заслужений діяч науки і техніки України
доктор біологічних наук

Н.С. Стародуб
Микола Стародуб

28 вересня 2023 р.



ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Начальник відділу кадрів
Підпис *С.Грищенко* С.ГРИЩЕНКО

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора Інституту
кібернетики

імені В.М. Глушкова НАН України

академік НАН України



Олександр ПАЛАГІН

23.06.2023 р

про впровадження результатів кандидатської дисертації

Ковирьової Олександри Валеріївни

на тему «Моделі і інструментальні засоби експресної діагностики для застосування в біології та медицині»

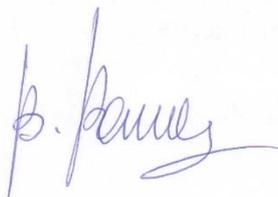
Даний акт засвідчує, що результати кандидатської дисертації Ковирьової О.В. були використані в рамках науково дослідної роботи УНТЦ №6064 «Розробка і підготовка до серійного виробництва розподілених інтелектуальних біосенсорів для захисту довкілля», що виконувалася протягом 2015-2016 рр. по результатах спільного конкурсу Українського науково-технологічного центру (УНТЦ) та Національної академії наук України 2014 р. в рамках програми «Цільові дослідження та розвиваючі ініціативи», а саме:

- для роботи з даними вимірювання та автоматизації рутинних розрахунків параметрів індукції флуоресценції хлорофілу розроблено програмний засіб у вигляді макросу для середовища Microsoft Office Excel. Застосування цього програмного інструменту дозволило швидко провести розрахунки великої кількості вимірювань, отриманих від мережі бездротових біосенсорів.
- з метою розробки методичного забезпечення для дослідних зразків біосенсору на тестових культурах проведено дослідження зміни індукції флуоресценції хлорофілу під впливом важкого металу (сульфату міді) та відсутністю поливу. Виконані дослідження та аналіз показали, що при розробці методики і програми випробувань дослідних зразків біосенсору слід брати до уваги розташування сенсора на листку рослини. Під час випробувань сенсори слід розміщувати на листку 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 жилок не вплине на результати вимірювання кривих ІФХ. Під час вимірювання слід уникати різких перепадів температури, оскільки це впливає на результати досліджень. При аналізі результатів експериментів не можна обмежуватися лише аналізом параметрів флуоресценції хлорофілу, а слід

враховувати форму кривих ІФХ. Аналіз публікацій з екологічного моніторингу та захисту довкілля дозволив вибрати рослини для досліджень, які можуть служити індикаторами впливу важких металів на оточуюче середовище, визначити реакції рослин на важкі метали та інші елементи в ґрунті. Це дозволило удосконалити методику діагностики рослин методом індукції флуоресценції хлорофілу.

Науково-дослідна робота в рамках проекту УНТЦ успішно завершена збірками серійних виробів в лютому 2017 р.

Науковий керівник НДР,
зав. відділом № 230
Інституту кібернетики
імені В.М. Глушкова,
д.т.н., проф.



Володимир РОМАНОВ

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор Інституту кібернетики імені
 В.М. Глушкова НАН України
 академік НАН України



Іван СЕРГІЄНКО

20 жовтня 2023 р

про впровадження результатів кандидатської дисертації
Ковирьової Олександри Валеріївни
 на тему «Моделі і інструментальні засоби експресної діагностики для
 застосування в біології та медицині»
 за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

Результати дисертаційної роботи м.н.с. відділу № 230 Ковирьової Олександри Валеріївни були використані при виконанні наступної тематики Інституту:

Програма НАН України «Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб»:

- «Портативний біосенсор з радіоканалом для експрес-діагностики захворюваності на пташиний грип та інші гострі вірусні інфекції» (№ держреєстрації 0107U005187, 0110U005113, 0111U004434, 0112U001925).
- «Мультисенсорна технологія експрес-діагностики стану рослин» (№ держреєстрації 0113U000828, 0114U002675, 0115U000890, 0116U002759, 0117U000647).
- «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» (№ держреєстрації 0118U000961, 0119U002302, 0120U002164, 0121U109222).

Проект УНТЦ: "Розробка і підготовка до серійного виробництва розподілених інтелектуальних біосенсорів для захисту довкілля" спільного конкурсу НАН України та Українського науково-технологічного центру 2014 р. програми "Цільові дослідження та розвиваючі ініціативи" (№ ДР 0115U000885).

Фундаментальні дослідження:

- ВФ.230.06 Розробити теоретичні основи і структурні принципи побудови віртуальних центрів онтолого-керованого проектування комп'ютерних пристроїв і систем для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб (№ держреєстрації 0108U000107)
- ВФ 230.14 Розробити нові інформаційні технології моделювання, дослідження і проектування комп'ютерних засобів та систем для експрес-діагностики стану біологічних і фізичних об'єктів (№ держреєстрації 0113U003149).

Прикладні дослідження:

- ВП.230.15 Розробити і створити інтелектуальні комп'ютерні прилади і засоби з методичним забезпеченням для сільського господарства, медицини і промисловості (№ держреєстрації 0113U003150).
- ВП 230.22 Розробити і створити систему дистанційного моніторингу для оцінки стану людини в умовах надзвичайних ситуацій (№ держреєстрації 0116U004556).
- ВП 230.27 Розробити «розумні» сенсорні прилади нового покоління та сенсорні мережі з властивостями функціональної та інформаційної безпеки для цифрового землеробства, охорони здоров'я та довкілля (№ держреєстрації 0119U002274).

Основні результати роботи, які отримані при виконанні цих НДР, полягають у наступному:

- у рослинництві:
 - доведено, що існуючі моделі фотосинтезу відображають окремі стадії цього процесу і не дають можливості прогнозувати динаміку розвитку рослин;
 - встановлено, що в існуючих системах точного землеробства, а саме у рослинництві відсутні засоби та методики вимірювання динамічних змін стану рослин у реальному часі;
 - обґрунтовано, що альтернативним до стандартних методів діагностики стану рослин є метод індукції флуоресценції хлорофілу;
 - методом крокової регресії побудовано математичну модель кривої індукції флуоресценції хлорофілу, яка дозволяє пришвидшити обробку даних про стан рослин;
- у біології:
 - шляхом аналізу параметрів та особливостей застосування промислових приладів на основі поверхневого плазмонного резонансу показано, що існуючі промислові прилади не призначені для роботи у польових умовах і не можуть бути використані у зонах епідемій напташиний грип, свинячу чуму та інші тяжкі вірусні захворювання. Таку можливість мали дослідні зразки приладів, розроблені в Інституті кібернетики;
- у медицині:
 - вперше розроблено інформаційну систему для попередньої діагностики стану людини на базі медичних опитувальників, а саме для оцінки якості життя та виявлення відхилень від норми менструальних циклів.

Науковий керівник НДР,
зав. відділом № 230
Інституту кібернетики
імені В.М. Глушкова,
д.т.н., проф.

Володимир РОМАНОВ