

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Hrusha

APPLICATION OF WIRELESS SENSORS NETWORK IN RESEARCHES OF CHLOROPHYLL FLUORESCENCE INDUCTION METHOD

The necessity of development of wireless fluorometer are considered in the article. The main features of web-based data acquisition system based on wireless sensor networks are showed.

Key words: chlorophyll fluorescence induction, fluorometer, wireless sensor networks.

Обоснована необхідність розробки бездротових флуориметрів. Приведені особливості побудови веб-орієнтованої системи збору даних на базі бездротової сенсорної мережі.

Ключевые слова: индукция флуоресценции хлорофилла, флуориметр, беспроводные сенсорные сети.

Обгрунтована необхідність розробки бездротових флуориметрів. Наведено особливості побудови веб-орієнтованої системи збору даних на базі бездротової сенсорної мережі.

Ключові слова: индукция флуоресценции хлорофиллу, флуориметр, бездротові сенсорні мережі.

© В.М. Груша, 2013

УДК 578.01+681.7.08+535.3+681.335.2

В.М. ГРУША

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗДРОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ У ДОСЛІДЖЕННЯХ МЕТОДУ ІНДУКЦІЇ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛУ

Вступ. У зв'язку із зростанням техногенного впливу на оточуюче середовище та впровадженням методів точного (прецизійного) землеробства зростає потреба у різноманітних автоматизованих системах моніторингу стану насаджень мегаполісів та сільськогосподарських угідь, що дозволяють здійснювати оцінки якості ґрунтів та рослинного покриву. Одним із методів отримання даних про стан рослини є метод індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) рослин в червоному спектрі світла, що характеризує процес проходження фотосинтезу, та реєструється при освітленні хлорофілу в синьому спектрі світла. В результаті отримується так звана крива Каутського.

Наукові дослідження ряду вітчизняних та іноземних дослідників [1] свідчать про можливість застосовувати даного ефекту для експресної оцінки життєдіяльності рослин, після засухи, морозу, зчеплення, внесення пестицидів та добрив, при забрудненні навколишнього середовища шкідливими речовинами техногенного походження. Як результат, це дає можливість зменшити кількість нітратів у ґрунті, економити енергетичні і водні ресурси при штучному поливі, створювати технології прецизійного землеробства, автоматизувати дослідження в області фізіології рослин; визначати оптимальні дози хімічних добрив та біологічних добавок тощо.

Досліди із вивчення ІФХ розпочалися із часу самого відкриття ефекту. Ґрунтовному вивченню можливостей застосування даного

ефекту заважали як складність біологічних експериментів, так і недосконалість та висока вартість апаратних приладів і засобів. Поява флуорометрів на базі мікропроцесорної техніки вкінці 90-х років минулого століття значно прискорила вивчення даного ефекту, проте до цього часу результати досліджень хоч і підтверджують певні потенційні можливості методу ІФХ під час контрольованих лабораторних та польових експериментів, проте в реальних польових умовах, коли рослини піддаються дії різних впливових факторів, невисока вірогідність і повторюваність цих результатів заважає впровадженню ефекту ІФХ у промислове рослинництво. Тож постає необхідність оптимізації досліджень ІФХ шляхом розробки і впровадження нових апаратно-програмних засобів.

Особливості отримання кривих ІФХ з допомогою портативного флуорометра «ФЛОРАТЕСТ». В рамках програми НАН України "Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технологічних потреб" в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України створені портативні комп'ютерні прилади для визначення в експрес-режимі впливу стресових чинників на стан рослин. Портативний прилад вимірює ІФХ без пошкодження рослини [1]. Практичну корисність приладу «Флоратест» підтверджено дослідженнями проведеними спільно з науковими установами Національної академії наук України та Національної академії аграрних наук України.

При обробці кривих використовують характерні зміни кривої та точки на кривій. Найбільш використовуваними є наступні показники: F_0 – початкове значення індукції флуоресценції після включення опромінення; F_p – значення індукції флуоресценції «плато»; F_m – максимальне значення індукції флуоресценції; F_{st} – стаціонарне значення індукції флуоресценції після світлової адаптації листа рослини; $F_m - F_0$ – варіабельна флуоресценція, τ_1 – час досягнення 0,5 варіабельної флуоресценції при зростанні кривої ІФХ; τ_2 – час досягнення 0,5 варіабельної флуоресценції при спаданні кривої ІФХ; $T = \tau_2 - \tau_1$ – тривалість ІФХ.

В деяких випадках різниця між кривими різних варіантів досліджуваної сукупності видно наочно. Для прикладу, на рис. 1 показано криві Каутського для люцерни, отримані розробленим флуорометром «Флоратест» під час дослідного експерименту в КНУ ім. Т. Шевченка з вивчення нових добрив [2]. Проте, переважно, результати вимірювань не такі очевидні. На рис. 2 показано криві, отримані спільно з Науковим центром екомоніторингу та біорізноманіття мегаполісу НАН України при дослідженні стану каштанів на території Києва. В таких випадках необхідно більш детально обробляти вимірювання, а також застосувати статистичні методи, які потребують вибірку з 20 – 30 вимірів з одного варіанта, а враховуючи те, що в статистичній сукупності може бути до 10 і більше варіантів, то при великій кількості вимірів на це може витратитися доволі багато часу. Отримання такої кількості вимірювань у польових умовах є доволі складною задачею, що пов'язано із залежністю ІФХ від зміни зовнішніх умов та необхідними часовими затратами на проведення вимірювань.

Час проведення дослідного експерименту можна обчислити за формулою:

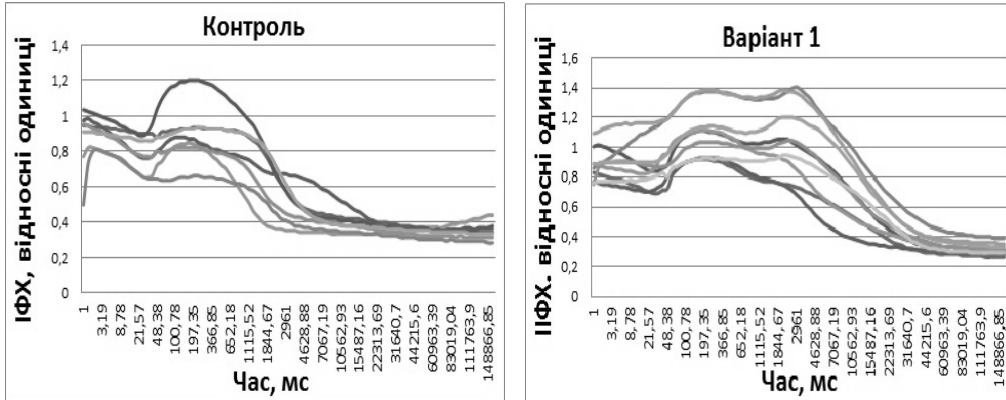


РИС. 1. Криві Каутського контрольних рослин люцерни та одного з варіантів підживлення

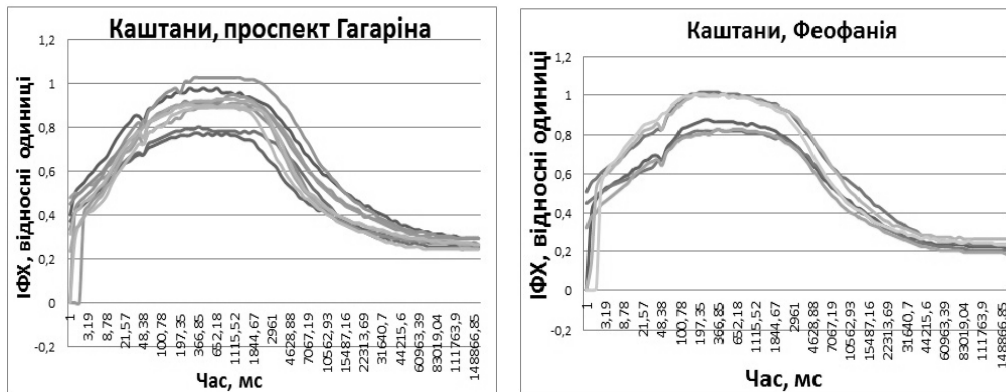


РИС. 2. Криві Каутського листа каштанів на проспекті Гагаріна та у парку «Феофанія»

$$t_e = \frac{\sum_i^N (T_{ad} + T_m + T_{pr})}{N_d}, \quad (1)$$

де t_e – час отримання експериментальних даних; N – загальна кількість вимірів; T_{ad} – час темної адаптації (час необхідний для приведення хлорофілу в стан спокою після розміщення кліпси на лист, який складає від 3-х до 20-ти хв.) [3]; T_m – час одного виміру; T_{pr} – час підготовки до наступного виміру (переміщення кліпси на інший лист, а при переповненні внутрішньої пам'яті приладу, додається ще час передачі даних на ноутбук), N_d – кількість пристроїв.

Зменшення кількості вимірів впливає на статистичну вірогідність результату і може призвести до хибних висновків. Так для отримання статистичної сукупності із 30 значень при 3 хвилинній темновій адаптації необхідно щонайменше 3,5 год., що знижує вірогідність отриманих даних у зв'язку із змінами кліматичних умов (температури, вологості, освітлення тощо). В деяких випадках можна вимірювати лише початок кривої Каутського (наприклад, лише 10 секунд), але для цього треба встановити, що даної тривалості досить для здійснення висновків. Більш інформативною є повна крива Каутського, для реєстрації якої здебільшого досить 3 хвилин, проте в деяких видів рослин, через особливості навколишніх умов, згаданого часу недосить для виходу на стаціонарний рівень, що показано на рис. 3. Як видно з рисунка, для виходу ІФХ на стаціонарний рівень необхідно 5 хвилин. Крім того, на ІФХ впливає сонячна радіація, тому в польових умовах при сонячній радіації доцільно збільшувати час темної адаптації до 10, а то й 15 – 20 хвилин. Тож єдиним виходом є збільшення кількості приладів, або ж розробки приладів із кількома сенсорами. В цьому випадку також можуть бути використані бездротові засоби зв'язку. Власне в даний час вже існує декілька аналогів таких бездротових флуорометрів. Крім того, здійснення великої кількості експериментів призводить до накопичення у дослідників великого масиву даних, які не завжди ефективно обробляються і не є доступними для інших науковців. Тож є доцільним у поєднанні мережі бездротових флуорометрів із відповідною web-базованою системою для накопичення та обробки кривих Каутського.

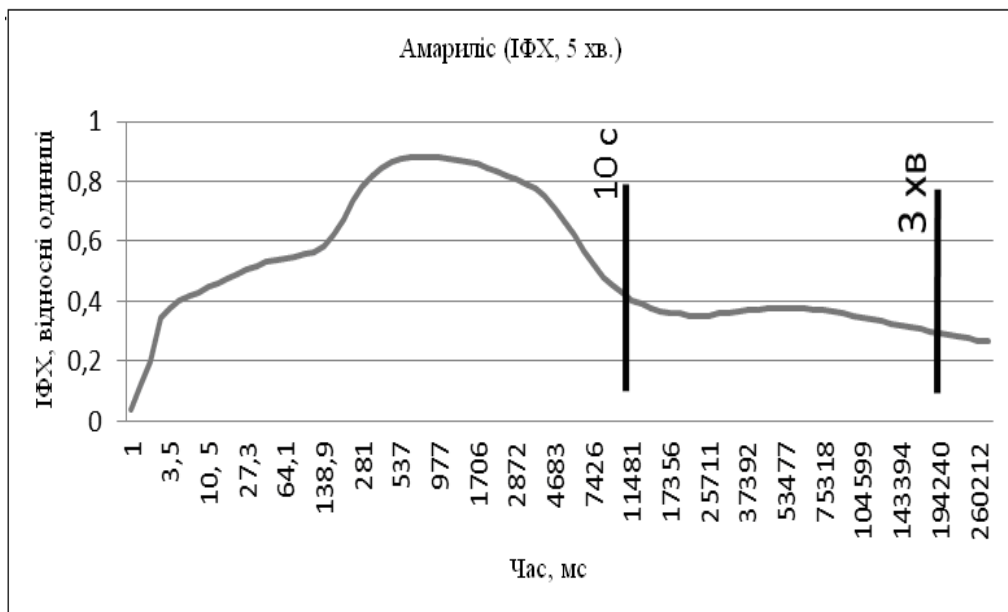


РИС. 3. П'ятихвилинна крива ІФХ рослини Амаріліса

Стандарти бездротового зв'язку. Як бачимо з (1), чим більше пристроїв, тим менший час експерименту. Оскільки використання кількох пристроїв збільшує вартість експерименту та потребує збільшення кількості дослідників, то найкращим виходом є використання бездротових технологій. Прикладом можуть бути невеликі оптичні сенсори, які б передавали дані у вузол обробки даних, яким може виступати як окремий мікропроцесорний блок, так і просто ноутбук або КПК. Відповідні розробки в даному напрямку ведуться як закордоном, так і в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України [2].

Головними критеріями при виборі тієї чи іншої бездротової технології є: низьке електроспоживання, дальність зв'язку, розміри та кількість бездротових модулів. Як видно з таблиці, по першому критерію найбільш перспективними є стандарти Bluetooth, ZigBee, та нестандартні прийомопередавачі на базі інтегральних мікросхем, які працюють в ISM діапазоні. Стандарт Bluetooth не забезпечує необхідної дальності, та обмежує кількість модулів. З точки зору дальності зв'язку, мінімізації енергоспоживання та габаритів сенсорів, перспективними для використання є прийомопередавачі на базі стандарту ZigBee або розробка сенсорних мереж на базі прийомопередавачів ISM – діапазону.

Особливості розробки та функціонування мережі бездротових сенсорів ІФХ. При розробці сенсорних мереж, слід враховувати вимоги які ставляться до самих сенсорів, а також до сенсорної мережі. Саме від цих вимог залежить апаратне та програмне забезпечення мережі. Серед основних параметрів сенсорної мережі можна виділити наступні [4]:

- 1) енергоспоживання;
- 2) дальність зв'язку;
- 3) розмір та вага сенсорів;
- 4) надійність зв'язку;
- 5) безпека зв'язку;
- 6) швидкість передачі;
- 7) вартість.

Виходячи з вибору цих параметрів визначають топологію мережі. Найпростішою в організації є топологія типу «зірка», проте при вимозі невеликого енергоспоживання така бездротова сенсорна мережа охопить незначну територію. Тож найбільш перспективна – mesh-топологія, за якою сенсори можуть не тільки передавати виміряні ними дані, а й виступати як проміжний передавач даних від сусідніх сенсорів.

Якщо достеменно невідоме розміщення сенсорів, то у них має бути вбудований алгоритм самоорганізації, при цьому необхідно передбачити їхній доступ до середовища передачі радіосигналу, механізм економії енергії та вибрати або ж розробити алгоритми передачі даних у мережах [5].

Для сенсорів ІФХ основною вимогою є їхня вага, яка має бути якомога меншою, щоб сенсор міг утримуватись на листі рослин. Звідси ж випливає, що елементи живлення також мають бути мініатюрними, а тому не надто потужними.

ТАБЛИЦЯ. Порівняння промислових стандартів бездротового зв'язку

Параметри	ZigBee	WiMax	GSM/GPRS EDGE	433/868 (ISM)	Bluetooth	Wi-Fi
Діапазон	2,4 ГГц	2 – 11 (10 – 66) ГГц	900 МГц 1800 МГц	433/868 МГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц, 5 ГГц
Швидкість	20 – 250 Кбіт/с	75 (134)+ Мбіт/с	171 (473) кбі/с	1 – 10 (100) кбіт/с	721 кбіт/с 2,1 Мбіт/с	100+ Мбіт/с
Безпека	+	+	+	залежно від схеми	Автентифіка- ція, кодування	68/124 бітне шифрування
Енергоспоживання	невисоке	високе	Високе	невисоке	Невисоке	Високе
Ціна	невисока	висока	Висока	невисока	Невисока	Висока
Реалізує стандарти	IEEE 802.14.5	IEEE802.16 e,d,m	GSM/GPRS, EDGE	–	IEEE 802.15.1. IEEE802.11	IEEE802.11 a,b,n,g
Дальність	1 – 75+ м	50 км	Необмежена	залежно від схеми	1 – 10+ м	45 (90)+ м
Застосування	Сенсорні системи	Міські мережі	Глобальні мережі	ISM	Мобільні при- строї	Локальні мережі
Час роботи від ба- тарей, діб	100 – 1000	1 – 7	1 – 7	залежно від схеми	1 – 7	1 – 7
Кількість пристро- їв у мережі	до 65 000	необмежено	необмежено	залежно від схеми	7 (можливе ро- зширення)	необмежено

Оскільки сенсори мають розташовуватись на рослинах у довільному порядку, тож необхідним є реалізація певного алгоритму самоорганізації мережі, яка пов'язана з адресацією у середині бездротової мережі. В разі динамічної адресації мережа потребує додаткового обміну повідомленнями з метою надання кожному сенсору власної адреси. Більш виправданим з точки зору енергоспоживання є надання унікальної адреси кожному сенсору під час виготовлення.

В даний час в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України реалізовано прототип радіопередавача та приймача на базі ІМС TRC105. На рис. 4 показано експериментальний зразок прийомопередавача на базі даної мікросхеми.

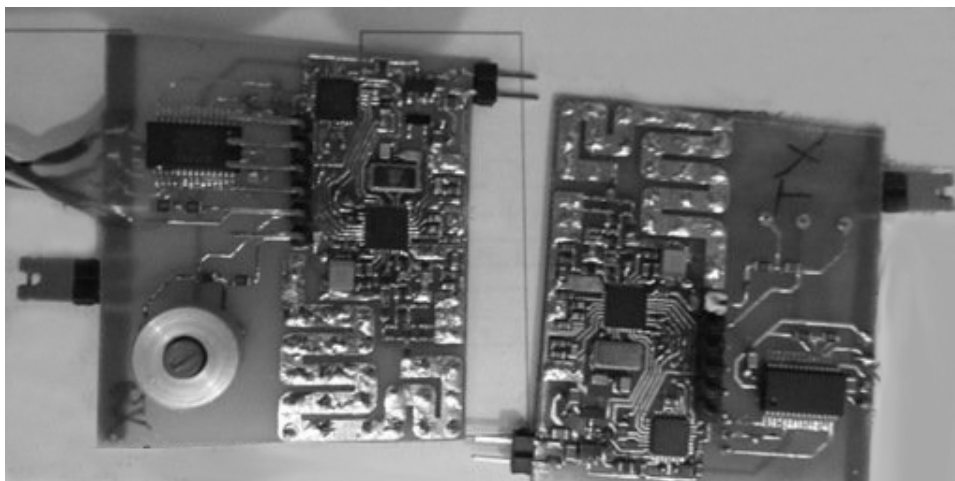


РИС. 4. Друкована плата робочого макету прийомопередавача на базі ІМС TRC105

Розподілена система збору та обробки даних. Розробка методик на базі методу ІФХ у промисловому рослинництві потребує здійснення чималої кількості тривалих експериментів з перевіркою результатів на різних полях, у різних географічних зонах. Розробка автоматизованої web-орієнтованої системи збору та обробки даних може значно пришвидшити вироблення типових методик. Така система має виконувати наступні задачі: автоматичний (або ж автоматизований) збір даних із бездротових сенсорних мереж; забезпечувати web-інтерфейс для доступу користувачів-дослідників через мережу Інтернет, на їхній запит здійснювати попередню математичну і, зокрема, статистичну обробку експериментальних даних, формувати звіти про результат обробки. Загальна структура системи збору та обробки даних показана на рис. 5.

При проектуванні бази даних виділено наступні сутності з атрибутами:

- користувач: логін, пароль, права доступу;
- установа: ідентифікатор установи, назва установи, адреса установи, телефон;

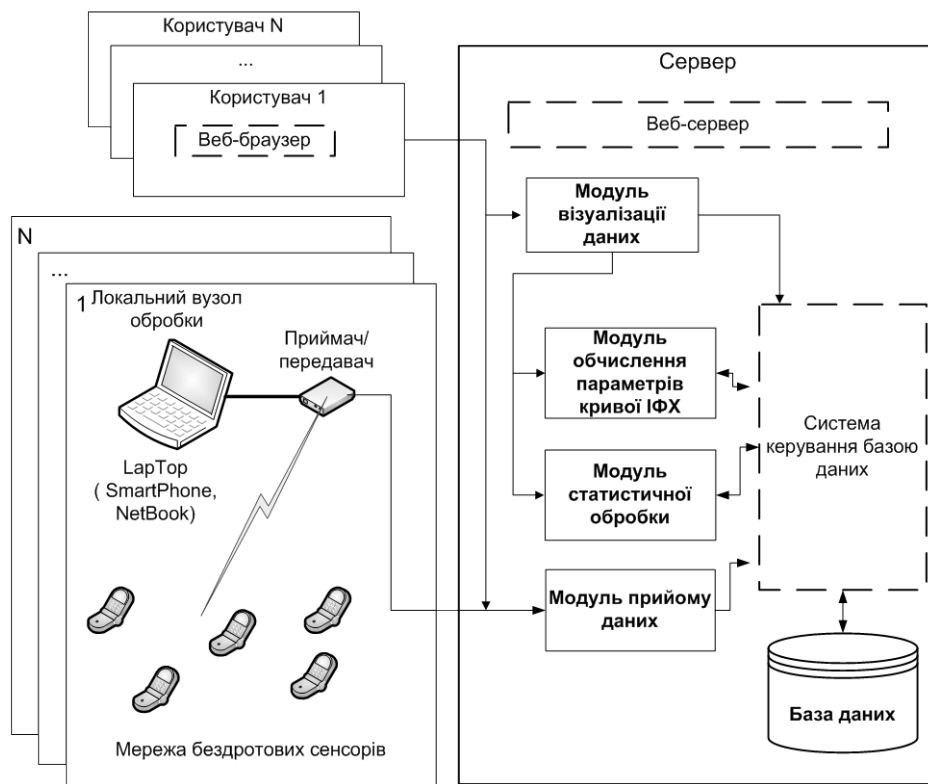


РИС. 5. Розподілена система збору та обробки кривих ІФХ

- науковець: ідентифікатор науковця, ПІБ, ідентифікатор установи, логін, контактні дані;
- експерименти науковця: ідентифікатор експерименту, ідентифікатор дослідника;
- експеримент: ідентифікатор експерименту, короткий опис, тривалість експерименту, місце проведення, вид експерименту (лабораторний, польовий);
 - рослина: ідентифікатор рослини, ідентифікатор місцевості, назва рослини, ідентифікатор варіанта;
 - варіант: ідентифікатор варіанта, ідентифікатор фактора, опис;
 - фактор: ідентифікатор фактора, назва, опис, значення;
 - місцевість: ідентифікатор місцевості, географічні координати, опис;
 - вимірювання: ідентифікатор вимірювання, дата, час, ідентифікатор рослини;
 - зразок листя: ідентифікатор зразка, ідентифікатор вимірювання, ідентифікатор хімічного складу, хлорофіл а, хлорофіл б, площа, ширина, ступінь зеленості, суха вага, вологість;

- хімічний склад листа: ідентифікатор хімічного складу, хімічний елемент, кількість;
- крива ІФХ: ідентифікатор рослини, ідентифікатор кривої, ІФХ, час адаптації, час тривалості вимірювання, примітки, часова мітка;
- параметри кривої: ідентифікатор кривої, назва параметра, значення;
- відношення: ідентифікатор відношення, ідентифікатор кривої, назва відношення, формула, значення;
- зразок коріння: ідентифікатор зразка кореня, ідентифікатор вимірювання, ідентифікатор хімічного складу зразка, довжина, суха вага, вологість;
- хімічний склад кореня: ідентифікатор хімічного складу кореня, назва хімічного елемента, кількість;
- зразок ґрунту: ідентифікатор зразка, ідентифікатор вимірювання, ґрунту, ідентифікатор хімічного складу, вологість, кислотність, температура під час вимірювання ІФХ;
- хімічний склад ґрунту: ідентифікатор хімічного складу ґрунту, ідентифікатор зразка ґрунту назва хімічного елемента, кількість;
- зразок стовбура: ідентифікатор зразка стовбура, ідентифікатор вимірювання, ідентифікатор хімічного складу, суха вага, вологість;
- хімічний склад зразка стовбура: ідентифікатор хімічного складу, назва хімічного елемента, кількість;
- зразок повітря: ідентифікатор зразка повітря, ідентифікатор вимірювання, ідентифікатор хімічного складу, суха вага, вологість, температура на час вимірювання ІФХ;
- хімічний склад ґрунту: ідентифікатор зразка повітря, назва хімічного елемента, кількість.

Результатом статистичної обробки є відомості про кореляцію ділянок кривої Каутського із характеристиками ґрунту, повітря, рослини, листя, освітлення (звичайно, при їх наявності), що дає можливість визначити залежність окремих ділянок кривої Каутського від зовнішніх умов, виявити ділянки та характерні точки, які не залежать від зовнішніх умов, а передусім від впливаючого фактора.

Висновки. Дослідження індукції флуоресценції хлорофілу з метою подальшого використання ефекту в промисловому рослинництві вимагає значної кількості тривалих експериментів для набору репрезентабельних статистичних сукупностей, що є утрудненим при використанні автономних флуорометрів. Основним шляхом прискорення цих досліджень є впровадження автоматизованої web-орієнтованої системи збору та обробки експериментальних даних на базі бездротових флуорометрів. У статті наведені особливості сучасних бездротових технологій та приклад побудови сенсорної мережі на їх основі. Розглянута загальна структура web-орієнтованої системи збору та наведені основні сутності та атрибути бази даних цієї системи.

1. Romanov V., Galelyuka I., Hrusha V., Sarakhan Ye. Biosensor for Express-Diagnostics of Plant States. // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції

- «Radostim-2009. Гумінові речовини та фітогормони в сільському господарстві», Дніпропетровськ, 16-18 лютого 2010. – С. 153 – 154.
2. *Груша В.М., Артеменко Д.М., Пацко О.В.* Використання бездротового зв'язку для моніторингу стану насаджень методом індукції флуоресценції хлорофілу // XVIII Міжнародна конференція з автоматичного управління, 28-30 вересня 2011 року: мат. конф. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С. 392 – 393.
 3. [http://www.envcoglobal.com/files/u4/app%20note%20%230309%20Plant Adaption.pdf](http://www.envcoglobal.com/files/u4/app%20note%20%230309%20Plant%20Adaption.pdf) Leaf Dark
 4. *Жиганов Е.Д., Моцєвєкин А.П.* Беспроводные сети датчиков на основе технологии nanoNet // Информационные технологии. – 2007. – № 11. – С. 28 – 35.
 5. *Юркин В.Ю., Мохсени Т.И.* Иерархические подходы к самоорганизации в беспроводных сверхширокополосных сенсорных сетях на основе хаотических радиоимпульсов // Труды МФТИ. – 2012. – Том 4, № 3. – С. 151 – 161.

Одержано 24.10.2013