

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Romanov, R. Imamutdinova

STUDY OF CHLOROPHYLL FLUORESCENCE INDUCTION CHANGE BY OPTICAL SENSOR DURING OF LONG-TERM STAY ON LIVING PLANT LEAF

The results of studying of chlorophyll fluorescence induction change by long-term stay of optical sensor on living plant leaf are offered.

Key words: chlorophyll fluorescence induction, optical sensor.

Представлены результаты изучения изменения индукции флуоресценции хлорофилла при длительном нахождении оптического сенсора на листе живого растения.

Ключевые слова: индукция флуоресценции хлорофилла, оптический сенсор.

Представлены результаты вивчення зміни індукції флуоресценції хлорофілу при довготривалому розташуванні оптичного сенсора на листу живої рослини.

Ключові слова: індукція флуоресценції хлорофілу, оптичний сенсор.

© В.О. Романов, Р.Г. Імамутдінова,
2015

УДК 681.335

В.О. РОМАНОВ, Р.Г. ІМАМУТДІНОВА

ВИВЧЕННЯ ЗМІНИ ІНДУКЦІЇ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛУ ПРИ ДОВГОТРИВАЛОМУ РОЗТАШУВАННІ ОПТИЧНОГО СЕНСОРА НА ЛИСТУ ЖИВОЇ РОСЛИНИ

Вступ. У сучасному промисловому сільському господарстві необхідно у реальному часі отримувати інформацію щодо впливу кліматичних та техногенних факторів на стан аграрних культур. При захисті рослинного покриву у мегаполісах, заповідних зонах, національних парках доцільно використовувати аналогічні засоби для оцінки впливу стресових факторів різної природи на рослинність цих територій.

Використання для цих цілей досягнень мікроелектроніки, біосенсорики та інформаційних технологій дозволяє з успіхом вирішити цю досить складну у масштабах великих територій задачу.

Інститутом кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України сумісно з Науково-виробничою фірмою VD MAIS розроблені та випускаються серійно комп'ютерні прилади сімейства «Флоратест», рис. 1, а, принцип дії яких базується на вимірюванні інтенсивності процесу фотосинтезу в рослинах (www.dasd.com.ua).

Слід відмітити, що випробування таких приладів у промисловому землеробстві показало, що на великих територіях сільськогосподарських угідь використання автономних приладів не завжди є ефективним.

Промислове сільське господарство починається з десяти тисяч гектарів для зернових культур та п'яти тисяч гектарів для овочевих культур і виноградників. Через це експресдіагностика стану рослин за допомогою автономних приладів на великих площах по-

требує використання великої кількості приладів та значних часових витрат. З іншого боку, від якості та повноти зібраних у реальному часу даних щодо стану рослин залежить ефективність прийняття управлінських рішень, які спрямовані на проведення заходів для підвищення врожайності сільськогосподарських культур та запобігання можливих втрат врожаю через вплив стресових факторів природного та техногенного походження. Це і штучний полив, і внесення добрива, гербіцидів і біододатків і т. п. [1].

В Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України розроблена концепція побудови багаторівневої сенсорної мережі для збору та обробки даних щодо стану рослин з великих площ сільськогосподарських угідь, лісопаркових зон і т. п., і здійснена її експериментальна перевірка. Робота по створенню бездротової сенсорної мережі для промислового землеробства, екологічного моніторингу і захисту довкілля виконується Інститутом кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України та партнерами у межах ряду міжнародних та національних проектів. Згідно цієї концепції мікроелектронні сенсори з радіоканалами розташовуються безпосередньо на листях рослин.

У склад сенсору входить мініатюрний приймач-передавач, який дозволяє об'єднувати ці сенсори в сенсорні мережі. При використанні сенсорних мереж для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) оптичні сенсори, рис. 1, б, знаходяться на листях живих рослин досить тривалий час, протягом декілька годин чи діб, що може привести до органічних (невідновних) змін у живому листу і зменшити інформативність оцінки стану рослини у цілому методом ІФХ. Тому вивчення зміни ІФХ при довготривалому розташуванні оптичного сенсора на листу живої рослини викликає безсумнівний інтерес і є необхідним при застосуванні сенсорних мереж у промисловому сільському господарстві. На необхідність такого вивчення було наголошено відомим фахівцем в галузі біосенсорики професором М.Ф. Стародубом на міжнародній конференції в м. Одеса [1].

Між фахівцями для оцінки ІФХ прийняті декілька значень інтенсивності флуоресценції, це – F_0 , F_{max} , F_s [2].

Якщо зелений лист живої рослини протягом тривалого часу (15 – 45 хв.) тримати у темряві, то усі запаси збуджень (активованих молекул та іонів, у тому числі ферментів) вичерпуються, і фотосинтез припиняється. Коли на такий адаптований до темряви живий лист починає діяти світло, то на реакційні центри хлоропластів спрямовується потік електронних збуджень. У початковий момент усі канали фотосинтетичного перенесення електронів повністю відкриті, вони максимально інтенсивно «відкачують» енергію у коло реакцій фотосинтезу, і флуоресценція хлорофілу мінімальна. Її інтенсивність у цей момент прийнято позначати як F_0 . Інтенсивність флуоресценції хлорофілу у головному максимумі кривої ІФХ прийнято позначати як F_{max} , інтенсивність у стаціонарному режимі – F_s .

З метою вивчення зміни ІФХ при довготривалому розташуванні оптичного сенсора на листу живої рослини у жовтні 2014 року нами виконано тесту-

вання ІФХ кімнатної фіалки (лат. *Saintpaulia*), рис. 1, в, згідно з планом експерименту [3].

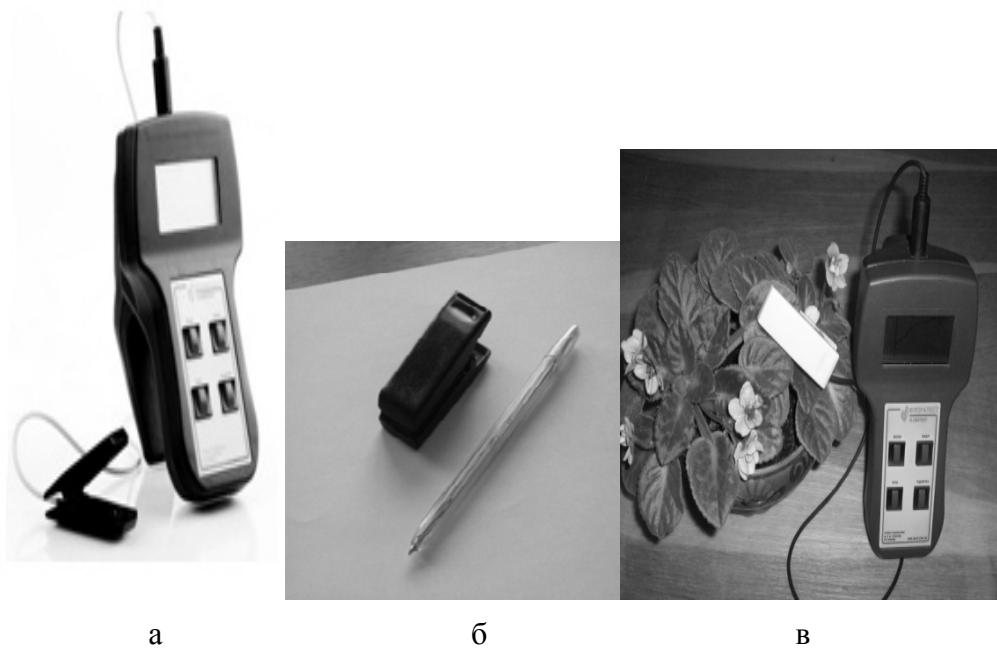


РИС. 1. Тестування кімнатної фіалки: а – автономний прилад сімейства «Флоратест», б – сенсор з бездротовим зв'язком, в – кімнатна фіалка

План експерименту. В приладі «Флоратест» була задана тривалість одного виміру 4 хвилини, тому що крива ІФХ, яка отримана протягом цього часу, є найбільш інформативною. Результати вимірів представлені у вигляді відповідних графіків з кривими ІФХ та таблицями зі значеннями F_0 , F_{max} , F_s для кожної кривої.

Далі наведені таблиці, які містять план проведення експериментів.

План експерименту 1. Оптичний сенсор розташований постійно на листу рослини, який позначено, як лист № 1. Вимірювання ІФХ цього листа виконуються через певні інтервали часу протягом тижня. Початок вимірювання об одинадцятій годині, з 13.10.2014 по 17.10.2014, табл. 1.

План експерименту 2. Вимірювання виконуються на двох інших листах рослини, які позначено, як лист № 2 і лист № 3, після п'ятихвилинної темної адаптації. На листу № 3 оптичний сенсор залишають на 60 хвилин, після чого виконують вимірювання. Початок вимірювання об одинадцятій годині, 20.10.2014, табл. 2.

План експерименту 3. Вимірювання виконуються на листах, які позначено, як № 4 і № 5. На листу № 4 оптичний сенсор має знаходитися протягом тривалого часу (декілька діб). На листу № 5 вимірювання виконуються після

п'ятихвилинної темної адаптації. Початок вимірювання об одинадцятій годині, 23.10.2014, табл. 3.

ТАБЛИЦЯ 1. План експерименту 1

Дата	Стан довкілля	План експерименту	Результати експерименту
13.10	Температура повітря у кімнаті – 21 °С, за вікном сонячний день	Інтервал часу між вимірами – 10 хв. Всього вимірів – 9	Рис. 2, табл. 4
14.10	Температура повітря у кімнаті – 21 °С, за вікном сонячний день	Інтервал часу між вимірами – 15 хв. Всього вимірів – 10	Рис. 3, табл. 5
15.10	Температура повітря у кімнаті – 20 °С, за вікном сонячний день	Інтервал часу між вимірами – 35 хв. Всього вимірів – 7	Рис. 4, табл. 6
16.10	Температура повітря у кімнаті – 21 °С, за вікном сонячний день	Інтервал часу між вимірами – 55 хв. Всього вимірів – 5	Рис. 5, табл. 7
17.10	Температура повітря у кімнаті – 19 °С, за вікном незначна хмарність	Інтервал часу між вимірами – 1 год. 25 хв. Всього вимірів – 3	Рис. 6, табл. 8

ТАБЛИЦЯ 2. План експерименту 2

Дата	Стан довкілля	План експерименту	Результати експерименту
20.10	Температура повітря в кімнаті – 19 °С, за вікном хмарно	Вимірювання після п'ятихвилинної темної адаптації на листах № 2 і № 3. На листу № 3 оптичний сенсор залишається на 60 хвилин після чого виконується вимірювання	Рис. 7, табл. 9

ТАБЛИЦЯ 3. План експерименту 3

Дата	Стан довкілля	План експерименту	Результати експерименту
23.10	Температура повітря в кімнаті 19 °С, за вікном хмарно	Виконуються вимірювання ІФХ на листах № 4 і № 5. На листу № 4 оптичний сенсор знаходився 47 годин. На листу № 5 вимірювання виконуються після п'ятихвилинної темної адаптації	Рис. 8, табл. 10

Результати експериментів. Результати експериментів 1 – 3 у вигляді графіків і таблиць зі значеннями параметрів кривої ІФХ F_0 , F_{max} , F_s показані на рис. 2 – 8 і наведені у табл. 4 – 10.

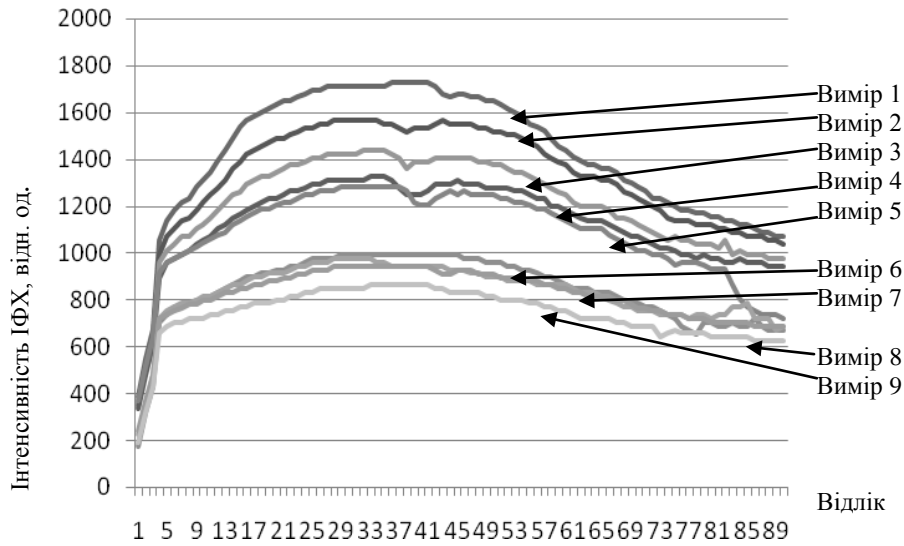


РИС. 2. Криві ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (13 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 10 хв.)

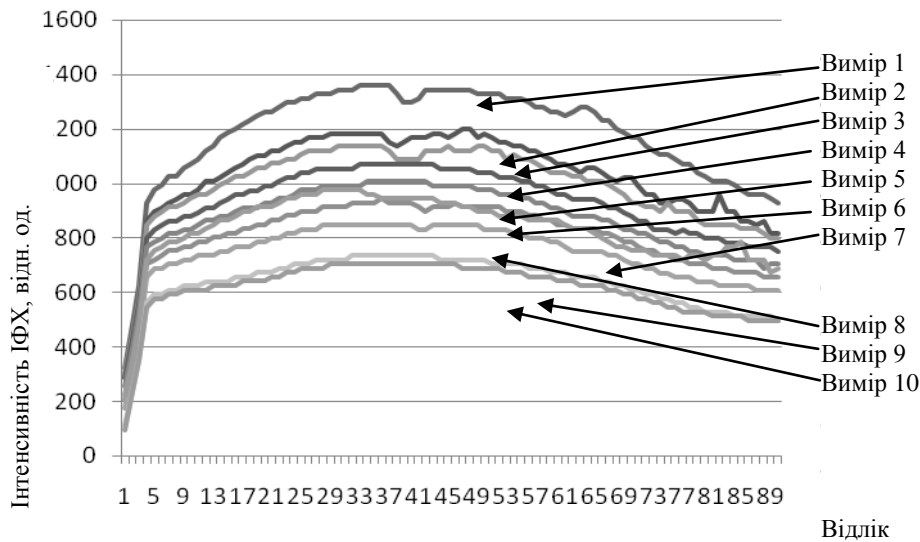


РИС. 3. Криві ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (14 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 15 хв.)

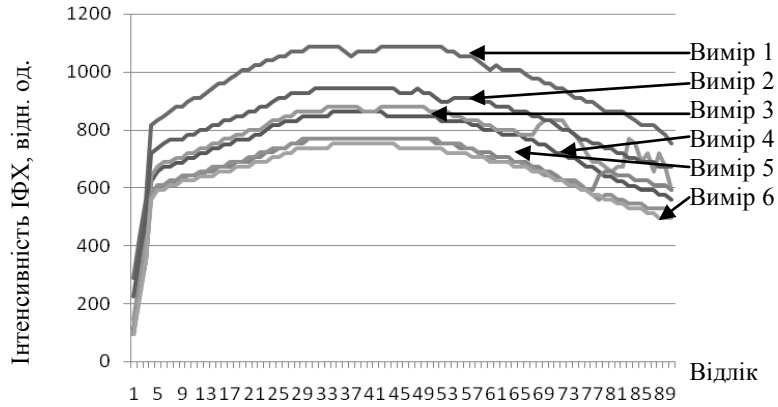


РИС. 4. Криві ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (15 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 35 хв.)

ТАБЛИЦЯ 4. Значення F_0 , F_{max} , F_s для кривих ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (14 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 15 хв.)

Номер виміру	F_0 (відн. од.)	F_{max} (відн. од.)	F_s (відн. од.)
1	384	1728	1072
2	352	1568	1040
3	352	1440	976
4	336	1312	944
5	368	1280	720
6	176	992	672
7	224	976	688
8	240	944	688
9	192	864	624

ТАБЛИЦЯ 5. Значення F_0 , F_{max} , F_s для кривих ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (15 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 35 хв.)

Номер виміру	F_0 (відн. од.)	F_{max} (відн. од.)	F_s (відн. од.)
1	288	1088	752
2	112	864	560
3	144	880	592
4	224	944	672
5	96	768	592
6	96	768	512
7	96	752	496

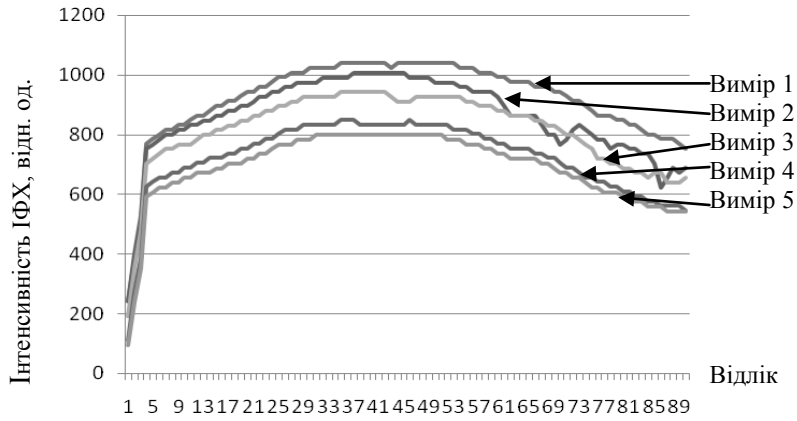


РИС. 5. Криві ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (16 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 55 хв.)

ТАБЛИЦЯ 6. Значення F_0 , F_{max} , F_s для кривих ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (16 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 55 хв.)

Номер виміру	F_0 (відн. од.)	F_{max} (відн. од.)	F_s (відн. од.)
1	240	1040	752
2	240	1040	752
3	192	944	656
4	112	848	544
5	96	800	544

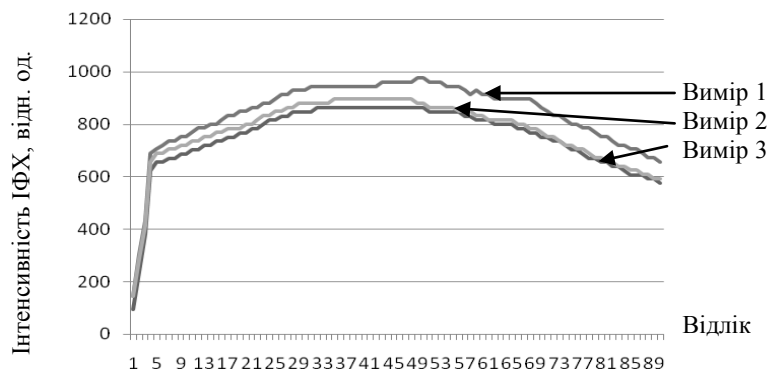


РИС. 6. Криві ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (17 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 1 год. 25 хв.)

ТАБЛИЦЯ 7. Значення F_0 , F_{max} , F_s для кривих ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (13 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 10 хв.)

Номер виміру	F_0 (відн. од.)	F_{max} (відн. од.)	F_s (відн. од.)
1	384	1728	1072
2	352	1568	1040
3	352	1440	976
4	336	1312	944
5	368	1280	720
6	176	992	672
7	224	976	688
8	240	944	688
9	192	864	624

ТАБЛИЦЯ 8. Значення F_0 , F_{max} , F_s для кривих ІФХ, які отримані за планом експерименту 1 (17 жовтня 2014 року, інтервал часу між вимірюваннями – 1 год. 25 хв.)

Номер виміру	F_0 (відн. од.)	F_{max} (відн. од.)	F_s (відн. од.)
1	144	976	656
2	96	864	576
3	144	986	592

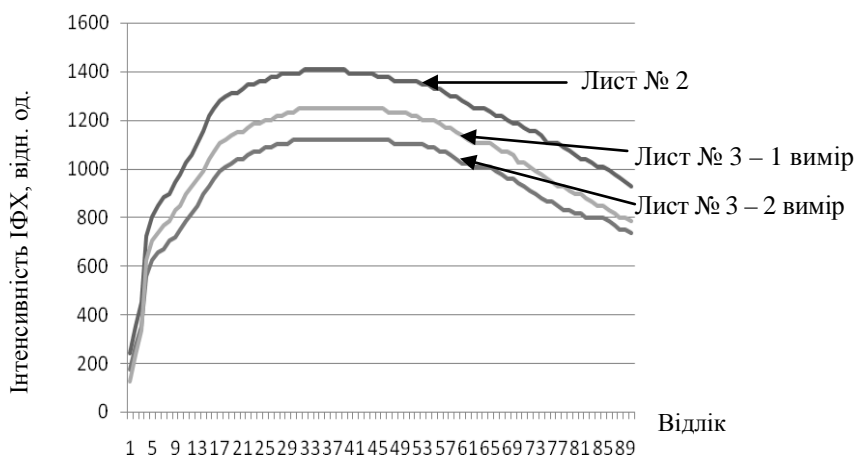


РИС. 7. Криві, які ІФХ отримані за планом експерименту 2 (20 жовтня 2014 року. Вимірювання виконувались на листах № 2 і № 3 після п'ятихвилинної темної адаптації. На листі № 3 оптичний сенсор залишався на 60 хвилин, після чого виконувалось вимірювання)

ТАБЛИЦЯ 9. Значення F_0 , F_{max} , F_s для кривих ІФХ, які отримані за планом експерименту 2 20 жовтня 2014 року

Номер виміру	F_0 (відн. од.)	F_{max} (відн. од.)	F_s (відн. од.)
1	128	1072	736
2	80	912	640
3	176	1120	736

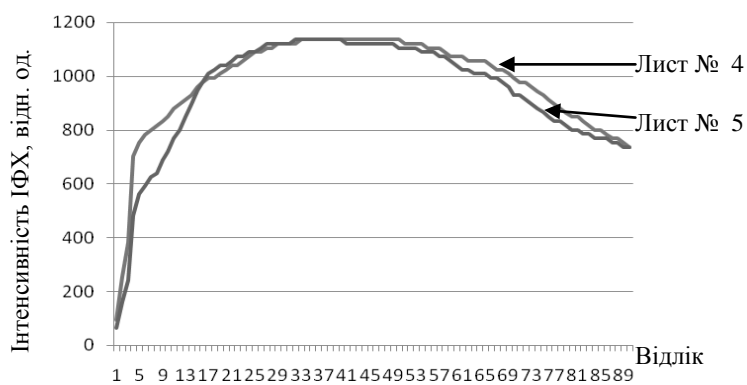


РИС. 8. Криві ІФХ, які отримані за планом експерименту 3 23 жовтня 2014 року. Вимірювання виконувалось на листах № 3 і № 4. На листу № 4 оптичний сенсор знаходився протягом 47 годин. На листу № 5 вимірювання виконувалось після п'ятихвилинної темної адаптації

ТАБЛИЦЯ 10. Значення F_0 , F_{max} , F_s для кривих ІФХ отриманих за планом експерименту 3 23 жовтня 2014 року

Номер виміру	F_0 (відн. од.)	F_{max} (відн. од.)	F_s (відн. од.)
1	96	1136	736
2	64	1136	736

Висновки. Аналіз отриманих графіків згідно експериментів 1 – 3 показав наступне:

1. При малих інтервалах часу між вимірами ІФХ спостерігається суттєве зменшення амплітуди кривої ІФХ (від виміру до виміру). У перший день експерименту різниця між значеннями F_{max} першого і останнього вимірів складає 864 відн. од. (табл. 4), у другий день – 656 відн. од. (табл. 5), у третій день – 336 відн. од. (табл. 6).

2. При інтервалі між вимірами ІФХ у 55 хвилин різниця між значеннями F_{max} першого і останнього вимірів складає 240 відн. од. (табл. 7).

3. Якщо інтервал часу між вимірами ІФХ становить 1 год. 25 хв., різниця між значеннями F_{max} першого і останнього вимірів складає 80 відн. од. (табл. 8), а форма кривої ІФХ від виміру до виміру практично не змінюється.

4. Зміна ІФХ при довготривалому розташуванні оптичного сенсору на листу живої рослини була додатково перевірена у експерименті 2. З результатів цього експерименту можна зробити наступний висновок – спостерігається незначне зменшення амплітуди кривої у всіх характерних точках ІФХ при збереженні форми цієї кривої.

5. За планом експерименту № 3 оптичний сенсор на листу № 4 знаходився 47 та 95 годин, на листу № 5 знаходився 5 хвилин (темнова адаптація), виміри ІФХ на цих листах показали ідентичність кривих ІФХ (рис. 8).

Загальний висновок. Таким чином при використанні бездротових сенсорних мереж для експрес-діагностики стану рослин методом ІФХ, що супроводжується тривалим розташуванням бездротових оптичних сенсорів на листах живих рослин, інтервал між вимірами слід задавати в межах від однієї години і більше. В цьому випадку довготривале розташування оптичних сенсорів на листах рослин практично не впливає на форму кривої ІФХ і на значення F_0 , F_{max} , F_s .

Робота виконана в рамках проекту УНТЦ № 6064 в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

1. Романов В.А., Галелюка І.Б., Груша В.М. Особенности применения биосенсорных приборов и сенсорных сетей в прецизионном земледелии и экологическом мониторинге // Сенсорна електроніка та мікросистемні технології. Тези доповідей – 6-та Міжнародна науково-технічна конференція. – Україна, Одеса, 29 вересня – 3 жовтня 2014 р.
2. Корнеев Д.Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла. – Киев: Альтапрес, 2002. – 188 с.
3. Володарский Е.Т., Малиновский Б.Н., Туз Ю.М. Планирование и организация измерительного эксперимента. – Киев: Издательское объединение «Вища школа», 1997. – 280 с.

Одержано 23.03.2015