

В.О. РОМАНОВ

## КОМП'ЮТЕРНІ ПРИЛАДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Наукове повідомлення на засіданні Президії НАН України

28 березня 2012 року

---

У світі майже 2 млрд людей страждають від нестачі продовольства, а ціни на нього кожні 10 років подвоюються. Це пояснюється, по-перше, постійним зростанням кількості населення і, по-друге, відведенням сільськогосподарських угідь під технічні та біоенергетичні культури. Тому виробництво продовольства нині стало однією з найприбутковіших сфер діяльності, а це, у свою чергу, спонукало розвинути країни з кінця минулого сторіччя переводити аграрну галузь на фабричні технології, за якими всі 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 перешкоджають впровадженню стандартних технологій у сільське господарство, які, як правило, не враховують цих кліматичних змін і тому потребують відповідної додаткової корекції технологічних процесів. Саме тому й було розроблено нову технологію виробництва сільськогосподарських продуктів, пристосовану до швидких кліматичних змін, яка дістала назву «прецизійне землеробство».

Прецизійне землеробство (Precision Agriculture) ґрунтується на керуванні продуктивністю сільськогосподарських культур з урахуванням змін параметрів зовнішнього середовища як природного, так і техногенного

походження. За цією технологією сільськогосподарські площі оцифровують і здійснюють постійне дистанційне спостереження за посівами, яке супроводжують систематичними наземними вимірюваннями стану рослин для відпрацювання відповідних управлінських рішень.

Метою прецизійного землеробства є одержання максимальних врожаїв за оптимальних витрат добрив, пестицидів, біологічно активних добавок, водних та енергетичних ресурсів.

Для того щоб швидко і своєчасно вносити поправки в технологію вирощування сільськогосподарських культур, потрібно у реальному часі визначати стан рослин в умовах дії тих чи інших стресових факторів.

Основним процесом, що відбувається в рослинах, є фотосинтез. Однак безпосередньо спостерігати за ним, не руйнуючи рослину, неможливо. Тому доцільно контролювати фотосинтез за конкурентними процесами, що його супроводжують, найінформативнішим з яких є індукція флуоресценції хлорофілу (ІФХ).

Ефект ІФХ полягає в тому, що під час збудження пігменту хлорофілу синім світлом він починає випромінювати світло у червоній ділянці спектра. Окремі відрізки кривої ІФХ характеризують відповідні фази фотосинтетичного процесу, а за формою такої

кривої можна, як за кардіограмою, за кілька хвилин визначити стан рослини.

Відомо, що фотосинтез є складним і багатокроковим процесом. Він складається з двох стадій — світлової й темної. Результатом світлової стадії є поява коферменту НАДФ, розклад води, виділення кисню та синтез нуклеотиду АТФ. Головним процесом темної фази є цикл Кальвіна, в результаті якого відбувається фіксація діоксиду вуглецю, який у свою чергу перетворюється на цукрозу та крохмаль.

З огляду на те, що інформатика має справу з моделями, а не з об'єктами, нами було вивчено і проаналізовано деякі існуючі математичні моделі фотосинтезу, а також спеціально побудовано модель ІФХ. На жаль, чим складніший і менш вивчений об'єкт, тим більше різних моделей можна створити і тим важче з ними працювати.

Найвні моделі фотосинтезу слабо корельовані між собою і відображують лише окремі стадії цього процесу. З погляду практичного застосування найперспективнішою ми вважаємо модель, розроблену на кафедрі біофізики біологічного факультету Московського державного університету ім. М.В. Ломоносова, яка добре корелюється з методом ІФХ.

Для практичного підтвердження результатів моделювання нами було виконано значну кількість натурних випробувань, а також на базі профільних інститутів-партнерів створено автоматизовані лабораторії на основі спеціальних кліматичних камер для вирощування рослин.

Слід зазначити, що ефект ІФХ було відкрито німецьким ученим Г. Каутським ще у 30-х роках минулого століття. Цей ефект тривалий час вивчали в лабораторних умовах з метою швидкого оцінювання стану рослин, а в останні 15 років у розвинених країнах на його основі було розроблено промислові прилади для використання в сільському господарстві.

В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України на основі ефекту ІФХ також було створено сімейство таких комп'ютерних приладів «Флоратест». Експеримен-



Комп'ютерні прилади «Флоратест»

тальні зразки розроблено за Комплексною науково-технічною програмою Національної академії наук України «Сенсорні системи для медико-екологічних і промислово-технологічних потреб» (керівник — академік НАН України Г.В. Єльська), а до серійного випуску прилади сімейства «Флоратест» підготовлено за проектом Українського науково-технологічного центру № 5219 «Розробка і підготовка до серійного виробництва інтелектуальних біосенсорів і методичного забезпечення для експрес-діагностики стану рослин в умовах прецизійного землеробства».

Починаючи з 2011 р. ці прилади випускаються серійно на контрактному виробництві Науково-виробничої фірми VD MAIS (м. Київ) і нині успішно використовуються під час напрацювання методичного забезпечення в агрофірмах, установах Національної академії аграрних наук України та аграрних університетах, серед яких:

Інститут рослинництва, екології та біотехнології Національного університету біоресурсів і природокористування України;

Інститут садівництва НААН України;

Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства ім. В.Є. Таїрова» НААН України;

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського» НААН України;

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України.

Широке впровадження у сільське господарство України комп'ютерних приладів сімейства «Флоратест» дасть змогу своєчасно вжити запобіжних заходів і, як наслідок, врятувати рослини від хвороб, зберегти врожай, підвищити продуктивність рослинних культур, скоротити витрати на виробництво одиниці продукції, знизити вміст шкідливих речовин у рослинах, що особливо важливо в умовах прецизійного землеробства, впровадження якого передбачає автоматизацію всіх ланок технологічного процесу.

Наприклад, випробування приладу «Флоратест» у процесі визначення строків чергових поливів саджанців винограду в Державному господарстві «Таїровське» показали, що застосування нових технологій з використанням цього приладу скорочує зрошувальну норму води на 30% (840 м<sup>3</sup>/га), а вартість заощадженої води становить близько 4,36 тис. грн./га. Завдяки оптимізації режиму вологості ґрунту на дослідних ділянках цього господарства вихід саджанців винограду збільшився в середньому на 8,2%, або на 8,9 тис. шт., вартість яких становить 42,7 тис. грн. Додатковий прибуток від застосування приладу впродовж вегетаційного періоду дорівнює 44,7 тис. грн/га.

У 2011 р. було проведено успішні випробування приладів сімейства «Флоратест» у кількох аграрних господарствах Німеччини для визначення впливу біологічно активних добавок на врожай таких культур, як кукурудза, цукрові буряки та соя.

Вище було зазначено, що на світовому ринку пропонується багато приладів для експрес-діагностики стану рослин, принцип дії яких ґрунтується на використанні ефекту ІФХ. Однак, як видно з таблиці, їхня вартість сягає кількох тисяч євро.

Крім того, методичне та програмне забезпечення зарубіжних приладів закрито для користувача, що унеможлиблює напрацю-

вання нових методик для рослин, що не включені до інструкції користувача. Тому за розробленням нових методик для такого приладу слід звертатися до фірми-виробника, витрачаючи додаткові кошти, які значно перевищують вартість самого приладу. Немає також можливості модернізації апаратних засобів цих приладів для розширення сфери застосування. Таким чином, прилади іноземного виробництва в Україні практично не використовуються у зв'язку з високою вартістю та відсутністю напрацьованих методик для широкого застосування, особливо для вирішення прикладних завдань, характерних для аграрної галузі України.

Комп'ютерні прилади сімейства «Флоратест» мають переваги порівняно із зарубіжними аналогами:

1. У приладах сімейства «Флоратест» передбачена швидка апаратна модернізація шляхом заміни виносного оптичного сенсора.

2. Прилади побудовано як відкриті системи. Нове напрацьоване користувачем методичне забезпечення у вигляді прикладної програми може бути записане у процесор приладу безпосередньо з персонального комп'ютера користувача.

3. Методичне забезпечення приладів сімейства «Флоратест» не має аналогів і спрямоване на економію водних та енергоресурсів під час штучного зрошування, оптимальне дозування біологічно активних добавок, добрив і пестицидів, виявлення на ранній стадії інфекційних хвороб сільськогосподарських рослин, експресне оцінювання дії несприятливих погодних умов та техногенних навантажень на стан рослин.

4. Вартість приладів за умови серійного виробництва принаймні у 3–5 разів менша від вартості закордонних аналогів.

Основні технічні рішення і методичне забезпечення приладів сімейства «Флоратест» захищено багатьма патентами України, відзначено на Всеукраїнському конкурсі «Винахід-2008». Інститутом підписано дві ліцензійні угоди на серійний випуск цих при-

## Порівняльні параметри базового приладу сімейства «Флоратест» з найближчими аналогами

Параметри	Тип приладу					
	Флоратест	OS-30р	CL-01	HANDY-PEA	PAM-2100	PPM-100
Фірма-виробник	Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова	OPTI-Sciences	Hansatech Instruments	Hansatech Instruments	Heinz Walz GmbH	EARS
Довжина хвилі випромінювання, нм	670	660	620–940	660	655	637
Час вимірювання, с	10...180	2...255	0,5...60	0,1...300	0,1...300	0,1...300
Можливість перепрограмування користувачем	Є	Немає	Немає	Немає	Немає	Немає
Вартість, євро	300	2495	1275	1350	15000	1395

ладів. У 2011 р. Комітет з Державних премій України в галузі науки і техніки прийняв рішення про відзначення роботи «Мікроелектронні датчики нового покоління для інтелектуальних систем», в яких представлено й прилади сімейства «Флоратест», Державною премією України.

Експериментальні зразки приладів, як вже зазначалося, було передано у науково-дослідні центри НААН України, в яких напрацьовано і напрацьовуються нині оригінальні промислові методики. Недаремно використання приладів сімейства «Флоратест» було відмічено президентом НААН України М.Д. Безуглим на загальних зборах НАН України у 2011 р., а Прем'єр-міністр України М.Я. Азаров, ознайомившись із приладом на виставці «Барвіста Україна 2011», зауважив, що таким приладом доцільно було б забезпечити кожного агронома.

Основні сфери застосування приладів сімейства «Флоратест»:

— експресне оцінювання життєдіяльності рослин після посухи, морозу, щеплення, внесення пестицидів;

— експрес-визначення оптимальних доз органічних і мінеральних добрив та біологічно активних добавок, що дає змогу оптимізувати кількість внесених добрив і біологічних добавок та зменшити вміст нітратів в овочах і фруктах;

— оптимізація технології прецизійного землеробства, а також використання приладу для наземного моніторингу та підтвердження космічних спостережень за розвитком сільськогосподарських культур;

— експресне визначення забруднення ґрунтів пестицидами, важкими металами і промисловими викидами та їх вплив на зелені насадження мегаполісу;

— економія енергетичних і водних ресурсів при штучному поливі;

— діагностика вірусного та бактеріального навантаження на сільськогосподарські рослини;

— прогнозування майбутнього врожаю, наприклад, у страховому землеробстві;

— автоматизація досліджень у галузі фізіології рослин у гімназіях, вищих навчальних закладах і науково-дослідних інститутах.

Нині з метою підвищення ефективності застосування інформаційних технологій у прецизійному землеробстві в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України розроблені та готуються до серійного виробництва розподілені інтелектуальні біосенсори з вбудованим радіоканалом. Принципова відмінність бездротових сенсорів від автономних приладів, наприклад приладів сімейства «Флоратест», полягає в тому, що такі сенсори попередньо розміщують на

досліджуваних рослинах, а зчитування даних відбувається одночасно мобільними засобами, наприклад безпілотним гелікоптером, по команді з віддаленого комп'ютера. Це дає змогу за короткий проміжок часу отримати сотні вимірів з різних ділянок великого поля, що особливо важливо в разі швидкої зміни кліматичних умов, під час внесення добрив, пестицидів, біологічно активних добавок тощо. Попередні експериментальні дослідження підтвердили переваги застосування інтелектуальних біосенсорів з радіоканалом, об'єднаних у розподілену сенсорну мережу, для одночасного збирання даних про стан рослин з великих площ сільськогосподарських угідь.

Використання мобільної безпілотної платформи (гелікоптера) для збирання великих масивів даних про стан рослин у реальному часі є новою технологією не лише для України, а й для багатьох європейських країн. Зацікавленість у цій технології вже виявили агрофірми Німеччини та України. Широке впровадження мобільних інформаційних технологій в аграрне виробництво України, на нашу думку, дасть змогу не лише підвищити продуктивність і якість кінцевої продукції, а й отримати економію при внесенні добрив, зекономити водні та енергетичні ресурси, своєчасно захистити рослини від інфекційних захворювань і техногенних навантажень.

Наука є найкращим середовищем для бізнесу, адже завдяки науковим дослідженням створюється найкоштовніший продукт —

інтелектуальна власність. Виходячи з цих азбучних істин, ті, хто створює нові інформаційні технології та комп'ютерні прилади, могли б не лише, так би мовити, добре жити, а й інвестувати в інші наукові напрями та фундаментальні дослідження.

Так, в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України розроблено комп'ютерні прилади, на які є попит в Україні й за кордоном. Ми навчилися за допомогою інформаційних технологій досить швидко (за 5–7 місяців) доводити свої розробки до серійних зразків, вироблених на сучасних автоматизованих підприємствах, так званих контрактних виробництвах. Слід зазначити, що відпрацювати технічну документацію для такого виробництва досить непросто. Доводиться проходити кілька виробничих циклів, тобто робити кілька спроб, доки вихід придатних приладів не наблизиться до 100%. Однак потім можна, наприклад, вранці замовити партію приладів, а вже ввечері отримати готові вироби. Для освоєння технології знадобиться 60–100 тис. доларів США на прилад, проте лише за таких умов можливо створити власний серійний конкурентоспроможний пристрій.

Досвід Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України в сфері інформаційних технологій може бути використаний для створення та серійного випуску аналогічних засобів і систем, розроблених в інших інститутах НАН України, в інтересах різних галузей народного господарства.