

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Romanov, I. Galelyuka

COMPUTER DEVICE FOR EXPRESS-DIAGNOSTICS OF PLANT STATE: RESULTS OF INTERNATIONAL PROJECT OF PREPARING FOR SERIAL PRODUCTION

In the article the results of international STCU project, within which the portable device "Floratest" was prepared for serial production in conditions of contract manufacture, are considered.

Key words: serial production, portable device.

Приведены результаты выполнения международного проекта УНТЦ, в рамках которого портативный прибор "Флоратест" подготовлен к серийному выпуску в условиях контрактного производства.

Ключевые слова: серийное производство, портативный прибор.

Наведені результати виконання міжнародного проекту УНТЦ, в рамках якого портативний прилад "Флоратест" підготовлено до серийного випуску за умов контрактного виробництва.

Ключові слова: серийне виробництво, портативний прилад.

© В.О. Романов, І.Б. Галелюка,
2012

УДК 681.5

В.О. РОМАНОВ, І.Б. ГАЛЕЛЮКА

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТИКИ СТАНУ РОСЛИН: РЕЗУЛЬТАТИ МІЖНАРОДНОГО ПРОЕКТУ ПО ПІДГОТОВЦІ ДО СЕРІЙНОГО ВИПУСКУ

Вступ. Науково-технічний прогрес в сучасних умовах відіграє важливу роль у розвитку економіки будь-якої країни та різних областей діяльності людини. Саме тому слід відзначити, що підтримка інновацій має пріоритетне значення. В загальному випадку ми можемо розуміти під інновацією процес виникнення і розробки певної ідеї з наступним створенням нових продуктів, послуг і технологій або їх удосконаленням. Якраз в цьому випадку наголос слід зробити саме на створенні дослідного взірця або моделі, підтвердження можливості та доцільності застосування новації на практиці, а не в теорії. Подальший перехід до промислового випуску продукції, яка затребувана ринком і отримання очікуваного прибутку від продаж цієї продукції (або ліцензій) можна вважати процесом комерціалізації.

Відомо, що ні держава, ні науково-дослідні організації не в стані взяти на себе повне забезпечення розробки та впровадження наукових розробок, то об'єднуючим елементом між інноваціями та комерціалізацією мають слугувати зацікавлені в таких наукових розробках бізнес-структури та недержавні фінансові фонди, прикладом яких може служити Український науково-технологічний центр (УНТЦ), за фінансової підтримки якого було здійснено підготовку портативного приладу для експрес-діагностики стану рослин до серийного випуску і випуск першої серийної

партії цього приладу. Об'єднання наукових організацій в розробці апаратного, програмного і методичного забезпечення біосенсору та комерційної структури, яка надала свої потужності сучасного контрактного виробництва, дозволило серійно виготовити і вивести на вітчизняний та світовий ринок конкурентоспроможний біосенсор, який не поступається закордонним аналогам.

У рамках міжнародного проекту УНТЦ № 5219 підготовлено портативний комп'ютерний прилад для експрес-діагностики стану рослин "Флоратест" (див. рис. 1) до серійного випуску та виготовлено першу серійну партію цього приладу [1]. Проект виконувався зусиллями спеціалістів чотирьох вітчизняних організацій: Інституту кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України, Національного наукового центру "Інститут виноградарства і виноробства імені В.Є. Таїрова" НААН України, Інституту садівництва НААН України та Національного університету біоресурсів та природокористування України.



РИС. 1. Варіант комп'ютерного приладу "Флоратест", що випускається серійно

Фахівці Інституту кібернетики були задіяні у розробці та виготовленні апаратної частини приладу й виносного оптичного сенсора, створенні прикладного програмного забезпечення приладу, розробці методики калібрування виносного сенсора, вивченні та підготовці контрактного виробництва, супроводженні випуску розробленого приладу на контрактному виробництві, виготовленні супроводжуючих документів, програм та дисків. Фахівці останніх трьох організацій були задіяні у випробуванні розробленого приладу на власних дослідних ділянках у польових і лабораторних умовах, обробці даних експериментів, напрацюванні методичного забезпечення та розробці загальних рекомендацій щодо модернізації приладу та його подальшої промислової експлуатації у сільському господарстві.

В статті наведені ключові моменти виконання міжнародного проекту на основі наукових звітів, які підготовлені всіма учасниками проекту.

Підготовка до серійного випуску. Слід зауважити, що для доведення комп'ютерного приладу "Флоратест" до серійного випуску необхідно значну увагу приділити не тільки проектуванню та створенню апаратної частини приладу, але і розробці оптимального й зручного прикладного програмного та методичного забезпечення. Підготовка якісної конструкторської документації на цілий прилад і на окремі його складові елементи сприятиме значному зменшенню фінансових і часових затрат на підготовку контрактного виробництва до випуску серійної продукції. Наявність добре підготовленого програмного забезпечення та документації користувача зумовить зменшення затрат на супроводження приладів, які надійшли на аграрний ринок та активно використовуються споживачами.

У процесі виконання проекту досягнуто дві мети. Перша – підготовка приладу до серійного виробництва. Вказана мета зумовила підготовку комплексу конструкторської документації на розроблений прилад відповідно до вимог сучасного контрактного виробництва. Як базове вибрано автоматизоване контрактне виробництво науково-виробничої фірми "VD-MAIS" (Київ, Україна) [2]. Основною характеристикою конструкторської документації була повна відповідність принципів схем приладу функціональним можливостям технологічної лінії поверхневого монтажу компонентів. Підготовка, перевірка та удосконалення конструкторської документації й відпрацювання технологічних процесів автоматизованого контрактного виробництва здійснювалися шляхом виготовлення тестової партії приладів. Крім вибору мікроелектронних компонентів, які придатні для поверхневого монтажу, здійснено детальний аналіз самого обладнання технологічної лінії контрактного виробництва з метою отримання кінцевої продукції відповідної якості у короткі терміни. Підготовка портативного приладу до серійного випуску і випуск тестової партії зумовили розробку єдиної методики калібрування виносних оптичних сенсорів приладу.

Друга – напрацювання методичного забезпечення приладу в процесі лабораторних та польових випробувань розробленого приладу, аналіз результатів випробувань приладу та розробка рекомендацій щодо дослідної експлуатації приладу усіма учасниками проекту. Випробування приладу проводилося учасниками проекту в декілька етапів згідно до розроблених ними планів та програм. Отримані результати слугували основою як для напрацювання нового методичного забезпечення, так і для всебічного аналізу можливостей приладу "Флоратест". Використання учасниками проекту розробленого приладу на дослідних полях та у лабораторних умовах поряд з класичними засобами і методами діагностики стану рослин показали і довели можливість його використання як інструменту експрес-діагностики стану живих рослин з подальшою інтеграцією у технологічні агробіологічні процеси. Однією з переваг використання приладу є можливість діагностики стану рослини у дуже короткі терміни безпосередньо на полі без пошкодження рослини. Сучасні методики діагностики стану рослин, які використовуються в організаціях аграрного спрямування, значно триваліші, коштовні та вимагають більш кваліфікованого персоналу.

Як відмічено вище, перед процесом виготовлення малої серії приладів "Флоратест" на контрактному виробництві фахівцями Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України створено пакет конструкторської документації на розроблений прилад відповідно до вимог сучасного контрактного виробництва науково-виробничої фірми VD MAIS. Головними вимогами до конструкторської документації була відповідність використаних електронних компонентів та друкованих модулів приладу функціональним можливостям обладнання для поверхневого монтажу.

До комплексу конструкторської документації входили такі основні креслення: схема принципова еkleктична базового блоку приладу "Флоратест", схема розташування елементів базового блоку приладу "Флоратест", креслення двосторонньої друкованої плати базового блоку, креслення кришки корпусу, крес-

лення корпусу, складальне креслення приладу, складальне креслення кришки корпусу та інші креслення на складові елементи приладу.

Сучасна технологія поверхневого монтажу реалізується за допомогою технологічних ліній складання та поверхневого монтажу компонентів. Для якісного виготовлення приладів було вивчено контрактне виробництво на відповідність необхідних для виробництва портативних приладів вимог.

Структура лінії контрактного виробництва та її склад показано на рис. 2. До складу технологічної лінії входило складально-монтажне, інспекційне, випробувальне та допоміжне обладнання.

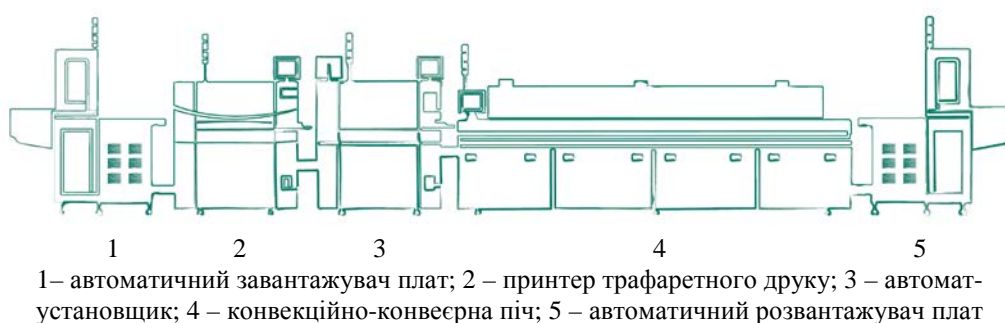


РИС. 2. Структура та склад лінії контрактного виробництва

Напрацювання методичного забезпечення. Вказаний етап проекту здійснювався фахівцями з Національного наукового центру "Інститут виноградарства і виноробства імені В.Є.Таїрова" НААН України, Інституту садівництва НААН України та Національного університету біоресурсів та природокористування України.

Останні два десятиліття характеризуються експансією закордонних сортів, їх впровадженням у садівництві та виноградарстві. Впровадження нових сортів супроводжувалося поширенням шкочинних вірусних та бактеріальних інфекцій. Їх небезпека для садівництва та виноградарства посилюється ще й тим, що сади та виноградники являють собою стаціонарні багаторічні насадження. Інфікування хоча б одного дерева чи куща призводить до поступового накопичення та розповсюдження інфекції, що у випадку агресивних збудників хвороб може призвести до загибелі плантації. Тому надзвичайно актуальною задачею є розробка інформативних та експресних методів, а основне для попередньої експресної діагностики захворювань, коли їх ще не можна виявити при візуальному контролі (латентна фаза).

Сьогодні існує досить багато способів діагностики вірусних та бактеріальних інфекцій. Серед них можна виділити біологічне тестування вірусних хвороб на трав'янистих рослинах-індикаторах, метод електронної мікроскопії, метод імунно-флуоресцентної мікроскопії, різні модифікації імунно-ферментного аналізу, реакції імунно-дифузії, серологічні тести для виявлення та ідентифікації

бактеріальних та вірусних захворювань рослин. Проте вони є досить коштовними, складними, більшість з них потребують тривалого часу та складного лабораторного обладнання, а єдиний на даний час метод визначення ураження рослин *in vivo* у польових умовах шляхом візуального обстеження недостатньо відповідає вимогам попередньої діагностики захворювань у реальному часі.

Актуальним напрямком сучасної фізіології рослин є розробка надійних методів для експресної оцінки функціонального стану сільськогосподарських культур протягом їх вегетації. Стан фотосинтетичного апарату є одним з найважливіших показників, що безпосередньо впливає на якість та кількість кінцевого врожаю. Рослини постійно знаходяться під впливом різноманітних факторів навколишнього середовища, які можуть викликати небажані наслідки для їх життєздатності.

Випробування портативного приладу "Флоратест" здійснено в польових та лабораторних умовах для аналізу впливу вірусної інфекції на стан фотосинтетичного апарату плодкових, ягідних та декоративних рослин. Прилад надав змогу реєструвати криву індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) або, іншими словами, криву Каутського, за параметрами якої визначався перебіг процесів як світлової, так і темної фаз фотосинтезу. Форма кривої ІФХ чутлива до всіх змін у будь-якій ланці фотосинтезу, спричинених як основними факторами навколишнього середовища, так і ендегенними чинниками.

Показники портативного комп'ютерного приладу "Флоратест" порівнювали з показниками лабораторного мікроспектрофлуориметра, за допомогою якого досліджували спектральні характеристики флуоресценції листів дослідних рослин в спектральному діапазоні 480 – 800 нм, вимірювали індуквані світлом (довжина хвилі збуджуючого випромінювання 436 нм, інтенсивність 200 – 400 Вт/м²) та температурою (нагрів до 75–80 °С зі швидкістю до 10 °С/хв.). Повільні зміни фотоіндукції флуоресценції хлорофілу реєстрували в інтервалі часу 1–300 секунд.

Матеріалом для роботи були листя 24 варіантів у маточнику підщеп яблуні та груші, 20 варіантів у розсаднику та 14 сортів груші в саду (Придністровська дослідна станція садівництва), 10 сортів та елітних форм суниці, 6 гібридних форм смородини чорної, 11 сортозразків сливи (Сумська дослідна станція садівництва), 6 сортозразків груші та 2 яблуні з наукового саду Інституту садівництва та 6 зразків "РЕ" сортів яблуні: Ревена, Реглінда, Ренова селекції Німеччини, що були надані фірмою "АГРОКРЯЖ" (Вінницька область).

Вивчення змін ІФХ здійснювали у 3-х разовому повторенні з 3-х хвилинною тривалістю циклу вимірювання. Для визначення оптимального місця відбору зразки відбирали з різних частин рослини (крони дерева). В окремому модельному досліді за допомогою портативного приладу "Флоратест" аналізували показники ІФХ листів рози, які уражені грибовою інфекцією.

Вірусна інфекція в значній мірі впливає на синтез хлорофілу. Тому для контролю його вмісту в листях проводили визначення зелених пігментів спектрофотометричним методом. Хлорофіли із листя екстрагували 96 % етиловим спиртом. У подальшому витяжку зелених пігментів аналізували на спектроколориметрі.

трі КФК-3. Вміст пігментів розраховували за методикою, опублікованою в довіднику по фізіології рослин за авторством А.М. Гродзинського і Д.М. Гродзинського.

За результатами проведених випробувань підтверджена можливість виявлення ураження рослин (деревовидних та кушових) бактеріальною інфекцією за допомогою флуоресцентного аналізу та з використанням портативного приладу "Флоратест". Також існує можливість виявляти приховану форму інфекції та прогнозувати стан рослин, а відповідно вчасно провести необхідні заходи по захисту рослин. Обробка культурних рослин гербіцидами виступає як стрес-фактор та призводить до зниження ефективності фотосинтезу на певний час. У залежності від норми обробки рослин гербіцидами значення індукції флуоресценції хлорофілу будуть також різними. Вказана кореляція є основою для того, щоб заздалегідь визначити оптимальну дозу гербіцидів. За допомогою приладу "Флоратест" встановлено, що підживлення листя кукурудзи протягом вегетаційного періоду може привести до посилення тиску на фотосистему та активації додаткових електронних шляхів. Зроблено висновок, що зі збільшенням ярусу листя кукурудзи спостерігається зниження фотохімічної активності фотосинтетичної системи 2 та квантового виходу фотохімії. Це явище носить обернений характер і визначається активними адаптаційними процесами до внесених добрив. Загалом можна зробити висновок, що розроблений прилад "Флоратест" є ефективним засобом для того, щоб заздалегідь визначити початок небезпечної фази розвитку рослинних масивів.

Встановлено, що рослини значно різняться за показниками змін індукції флуоресценції хлорофілу, яка відображає процеси перетворення енергії на початкових етапах фотосинтезу. Так, вже за параметром F_0 для сприйнятливих до фітопатогенів та шкідників рослин (в нашому випадку гіркогоаштана звичайного) спостерігається збільшення цього параметру, що характеризує зростання молекул хлорофілів, які не передають енергію на реакційні центри фотосистеми 2 (ФС2). Про зростання ступеня відновленості реакційних центрів ФС2 хлоропластів свідчить і зростання максимального рівня флуоресценції хлорофілу F_{max} . Як тестовий показник для раннього добору стійких форм гіркогоаштанів рекомендується використовувати коефіцієнт плато $K_{pl} = (F_{pl} - F_0) / (F_p - F_0)$. Значення $K_{pl} \geq 0,4 - 0,5$ свідчить про сприйнятливості генотипів гіркогоаштанів та прискорює процес добору у порівнянні з візуальними обстеженнями.

Рекомендації щодо використання приладу. Створення приладу "Флоратест", що реєструє зміни ІФХ, дозволило застосувати цей високочутливий метод для виявлення функціональних змін в стані рослин на ранньому етапі розвитку патогенів та розробити принципово нові експресні способи визначення ураженості дослідних рослин.

Використовуючи портативний прилад "Флоратест" для вимірювання ІФХ, необхідно враховувати наступні рекомендації, які узагальнено за результатами експериментів усіма учасниками проекту:

- адаптація листа у темноті має становити не менше 3 хвилин;

- при розробці нових методик бажано вимірювання проводить у 3-х хвилинному діапазоні, коли визначається довготривала флюоресценція, що дає змогу отримувати більш повну інформацію про стан фотосинтетичного ланцюга рослин;

- при вимірюванні в польових умовах з кожного варіанту необхідно проводити не менше п'яти замірів;

- оцінку фізіологічного стану рослин необхідно здійснювати шляхом порівняння показників дослідної та контрольної груп рослин;

- вимірювання рослин з дослідних груп необхідно проводити вибором листя, яке є однакове за розмірами, кольором та ін.;

- необхідно дотримуватись ярусності, що також є важливим фактором при визначенні впливу дії зовнішнього середовища на стан рослин.

Для інтерпретації впливу стресового чинника на рослину використовуються зміни кривої ІФХ, зовнішній вигляд якої у деяких сільськогосподарських культур може відрізнитися від класичного.

В рамках проекту УНТЦ № 5219 вже напрацьовані промислові методики застосування приладів "Флоратест" і виконані відповідні польові випробування. Отримані результати дозволили підписати дві ліцензійні угоди на випуск приладів "Флоратест" в умовах контрактного виробництва в 2012 році.

Однак польові випробування приладу "Флоратест", у тому числі в аграрних господарствах Німеччини, показали деякі обмеження у його використанні. Так, наприклад, отримання даних з однієї рослини триває декілька хвилин. Промислове землеробство передбачає вирощування монокультур на десятках тисяч гектар. Для впровадження промислових методик керування технологічними процесами в промисловому аграрному виробництві з використанням приладів "Флоратест" необхідно виконати тисячі вимірів у обмежений інтервал часу. А це потребує одночасного використання великої кількості автономних приладів, які мають обслуговуватися досить кваліфікованими фахівцями.

Для розвитку технології експресного визначення стану рослин методом ІФХ в умовах прецизійного землеробства нами пропонується розробити та підготувати до серійного виробництва розподілені інтелектуальні прилади з вбудованим радіоканалом. Принципова відмінність запропонованих сенсорів від автономних приладів полягає у тому, що вони попередньо розміщуються на досліджуваних рослинах, а зчитування даних відбувається мобільними засобами одночасно у визначені терміни по команді з віддаленого мобільного комп'ютера. Таким чином, замість коштовних приладів з собівартістю до 300 доларів США будуть використані недорогі інтелектуальні сенсори з собівартістю до 50 доларів США. За короткий проміжок часу можуть бути отримані сотні вимірів з різних ділянок великого поля, що особливо важливо при швидкій зміні кліматичних умов. При цьому для розміщення сенсорів може бути залучений фахівець невисокої кваліфікації.

Виконані експериментальні дослідження підтвердили переваги заміни автономних приладів інтелектуальними сенсорами з радіоканалом, об'єднаних у роз-

поділену сенсорну мережу збору даних [3]. Ці переваги особливо суттєві, якщо виміри виконуються одночасно на великих площах сільськогосподарських угідь.

Впровадження розподілених інтелектуальних приладів з радіоканалом в аграрне виробництво дасть змогу не тільки підвищити продуктивність та якість кінцевої продукції, але й отримати економію при внесенні добрив, зекономити водні та енергетичні ресурси, своєчасно захистити рослини від інфекційних захворювань і техногенних навантажень.

Висновки. В статті наведені результати міжнародного проекту УНТЦ, в рамках якого в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України було підготовлено портативний прилад "Флоратест" до серійного випуску на сучасному контрактному виробництві. Напрацювання методичного забезпечення здійснювалося фахівцями Національного наукового центру "Інститут виноградарства та виноробства імені В.Є. Таїрова" НААН України (Є.В. Сарахан, Н.А. Мулюкіна), Інституту садівництва НААН України (О.І. Китаєв, Д.О. Кисельов) та Національного університету біоресурсів та природокористування України (М.Ф. Стародуб, Р.В. Сонько). Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова представлений колективом у складі 6 фахівців (В.О. Романов, О.В. Палагін, І.Б. Галелюка, Ю.О. Брайко, В.С. Федак, В.І. Макаров, Д.М. Артеменко, Р.Г. Імамутдінова).

Випробування учасниками проекту розробленого приладу "Флоратест" на дослідних полях та в лабораторних умовах у порівнянні з класичними засобами і методами діагностики стану рослин показали та довели можливість використання цього приладу як інструменту експрес-діагностики стану рослинного об'єкту з подальшою інтеграцією у технологічні агробіологічні процеси.

1. Romanov V., Artemenko D., Brayko Yu., Galelyuka I., Imamutdinova R., Kytayev O., Palagin O., Sarakhan Ye., Starodub M., Fedak V. Portable Biosensor: from Idea to Market // International Journal "Information Theories & Applications. Vol. 19, Number 2. – Sofia, Bulgaria. – 2012. – P. 126 – 131.
2. <http://vdmias.ua>.
3. Palagin O.V., Romanov V.O., Galelyuka I.B., Velichko V.Yu., Hrusha V.M. Data acquisition systems of plants' state in precision agriculture // Proceeding of the 6th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2011. – Prague, Czech Republic. – 2011, September 15 – 17. – P. 16 – 19.

Одержано 11.10.2012