

МІНІСТЕРСТВО СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА І ПРОДОВОЛЬСТВА  
УКРАЇНИ

Український державний аграрний університет

---

На правах рукопису

МАРТИНЕНКО Олексій Іванович

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РОСЛИННИХ БІОСИСТЕМ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЇ ВІД РОСЛИН

05.13.07 Автоматизація технологічних процесів  
і виробництв ( по галузі агропромис-  
лового комплексу)

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ - 1994

АВ 29.454

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Інституті фізіології рослин та генетики Академії наук України

Науковий консультант: академік УААН,  
доктор технічних наук,  
професор ПОГОРІЛИЙ Л. В.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,  
професор ГРИЩЕНКО А. З.

академік Академії техно-  
логічної кібернетики,  
доктор технічних наук,  
професор ГІРНИК М. Л.

доктор біологічних наук,  
в. о. професора ПОСУДІН В. І.

Провідна установа: Інститут механізації та електрифі-  
кації сільського господарства УААН

Захист відбудеться "18" 04 1994р. о 14 годни  
ні на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.05.05  
в Українському державному аграрному університеті за  
адресою : 252041, Київ-41, вул.Героїв оборони, 11.

Просимо прийняти участь у роботі спеціалізованої  
ради або вислати відгук на автореферат в 2-х примір-  
никах, завірений печаткою Вашої установи, за адресою:  
252041, Київ-41, вул.Героїв оборони, 15, сектор захисту  
дисертація.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці  
університету.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України  
16 03 1994 р.

Автореферат розісланий " 16 " 03 1994 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради

*Л. П. Тіщенко*  
ТІЩЕНКО Л. П.

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00801542 (K)

### Актуальність теми

Екологічні та продовольчі проблеми вимагають створення нових високопродуктивних сортів рослин і визначення оптимальних умов для їх росту і розвитку, що пов'язано, як правило, з багаторічними селекційними та агрономічними дослідженнями. Одним з найефективніших шляхів прискорення цього процесу є створення автоматизованих біосистем, які включають в себе рослини та технічні засоби отримання інформації про їх життєдіяльність. Отримана інформація характеризує функціональний стан рослини у зв'язку з впливом факторів середовища і може бути використана для ідентифікації та оптимального управління.

Ідентифікація рослинних біосистем вимагає з одного боку, створення інформаційно-вимірвальних систем для одержання інформації від рослин, а з іншого - розробки теоретичного апарату для обробки та інтерпретації цієї інформації.

При вирішенні цих задач відкриваються принципово нові можливості для вирощування і селекції рослин. В умовах активного експерименту в кліматичних установках ідентифікація дозволяє виявити оптимальні умови реалізації продуктивного потенціалу різних сортів, здійснити швидкий цілеспрямований відбір необхідних форм і ліній з багатьох господарськими якостями (морозо-, посухо-, жаро-ростійкості) та розв'язати ряд інших практичних задач.

Робота виконувалась в Інституті фізіології рослин та генетики АН України в рамках науково-технічної програми 2.3.6.226 "Розробка методів і технічних засобів для інформаційного забезпечення селекційно-генетичних досліджень у фітотроні", номер держреєстрації 01.9.00 024072.

Мета і завдання досліджень. Метою досліджень є теоретичне обґрунтування та практична розробка методів, технічних засобів і автоматизованої системи ідентифікації стану рослинних біосистем на основі інформації, отримуваної від рослин.

В зв'язку з цим розв'язувались такі завдання:

1. Обґрунтування та розробка принципів ідентифікації рослинних біосистем.
2. Теоретичне та експериментальне дослідження рослини як складової частини рослинної біосистеми.

3. Аналіз параметрів стану рослин та їх інформативності для цілей ідентифікації.

4. Розробка методів, алгоритмів, технічних засобів і структури системи збору та обробки інформації від рослин.

5. Структурно-функціональний синтез автоматизованої системи ідентифікації стану рослинних біосистем.

Об'єктами досліджень були різні види рослин (селекційні-пшениця, кукурудза, тропічні- орхідеї і тепличні - огірки, томати), а також фітометричний комплекс датчиків, технічних і програмних елементів системи збору та обробки інформації від рослин.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань використовувалася системний аналіз, теорія інформації та теорія автоматичного управління.

Експериментальні дослідження виконувались за допомогою спеціально розробленої фітометричної установки на базі кліматичної камери KTLK-1250 з використанням датчиків ІРТ, ПТЛ, конструкції СКБ Республіки Молдова, а також датчиків і перетворювачів власної конструкції. Для оцінки функціонального стану рослин використовувались відомі, а також розроблений нами метод оцінки функціонального стану за біоелектричними характеристиками рослин (А.С.СРСР №1303080, 1986). Поточна обробка експериментальних даних здійснювалась з використанням апарату теорії імовірностей і математичної статистики за допомогою ЕОМ.

Наукова новизна результатів досліджень:

- обґрунтовано метод ідентифікації рослинних біосистем на основі динамічних моделей у просторі станів, що враховують поточний стан рослин та її взаємодію з середовищем;
- визначені інформативні компоненти багатомірного вектору функціонального стану рослин;
- встановлені особливості первинної інформації, отриманої від рослин та пов'язані з цим особливості ідентифікації;
- розроблено комплекс методів і технічних засобів безперервного отримання інформації від рослин;
- запропоновані алгоритми ідентифікації стану рослинних біосистем по отримуваній інформації з використанням адаптивних

моделей.

Новизна технічних і методичних рішень по темі дисертації захищена 10 авторськими свідоцтвами на винаходи, одержаними за період 1982-1993рр.

#### Практична цінність роботи і реалізація результатів досліджень

На розроблені методи та ряд технічних засобів для одержання інформації від рослин одержані авторські свідоцтва (N1203796, N1303080, N1414355, N1450785, N1563639, N1628980). На їх основі створено пристрої для ідентифікації стану рослинних біосистем в умовах захищеного ґрунту, які пройшли виробничу перевірку в господарствах Києва та Київської області: "Пуща-Водиця", "Декоративне квіткарство", "Тепличний", де сприяли підвищенню врожайності та поліпшенню якості продукції. В Інституті фізіології рослин та генетики АН України створено багатофункціональну автоматизовану систему ідентифікації на базі кліматичної камери KTLK-1250 і EOM для прискореної оцінки якості селекційного матеріалу. В Центральному ботанічному саду ім. М.М.Гришка налагоджена аналогічна система, яка використовується для виявлення механізмів адаптації рослин до екстремальних умов.

Положення, що вносяться до дисертації:

1. Нова модель рослинної біосистеми, яка відображує принципи її особливості її функціонування, а саме нерозривний зв'язок середовища і рослин з урахуванням динамічного характеру їх взаємодії у просторі станів біосистеми.

2. Теоретично визначений та експериментально обґрунтований набір параметрів, мінімально необхідний для ефективною ідентифікації функціонального стану рослини - біоселекційний, термодинамічний і тургорний потенціали.

3. Новий принцип адаптивної ідентифікації рослинних біосистем, пов'язаний з особливостями їх функціонування як адаптивних систем із змінною структурою, який ґрунтується на використанні не первинних характеристик, а сукупності динамічних і статистичних оцінок у вигляді образу динамічного стану (ОДС) на інтервалі спостереження. Сукупність ОДС використовується для формування адаптивних моделей рослинної біосистеми, які корегуються (адаптуються) у відповідності із змінами стану рослини, що викликані їх розвитком або дією факторів середовища.

### Апробація роботи

Матеріали теоретичних і експериментальних досліджень, включених до дисертації, доповідались і обговорювались на: Республіканській науково-теоретичній конференції "Механізація та електрифікація виробничих процесів в сільському господарстві" (м.Київ, 1982, 1989); Республіканській конференції "Автоматизація технологічних процесів в тваринництві та рослинництві - важливий фактор реалізації Продовольчої програми" (м.Київ, 1983,1985); Всесоюзній конференції "Проблеми електрифікації, автоматизації та теплопостачання с.г. виробництва" (м.Москва, 1985); Всесоюзній конференції "Проблеми впровадження кібернетики в с.г. виробництво" (м.Москва, 1986); Республіканській конференції "Автоматизація наукових досліджень -1986" (м.Львів, 1986); II Всесоюзній конференції АН СРСР "Математичні та обчислювальні методи в біології" (м.Пущино, 1987); Всесоюзній конференції "Автоматизація виробничих процесів в сільському господарстві" (м.Москва, 1989); Всесоюзній науковій конференції "Онтогенетика вищих рослин" (м.Кишинів, 1989, 1991); Міжнародній конференції "Технологія програмування 90-х" (м.Київ, 1991); Республіканській школі-семінарі "Використання мікропроцесорів і обчислювальної техніки в біології" (м.Славськ, 1991); школі-семінарі "Експертні системи в біології та медицині" (м.Київ, 1991); Міжнародній науково-технічній конференції "Статистичні методи в теорії передачі та перетворення інформаційних сигналів" (м.Київ, 1992); Міжнародному симпозіумі "Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів" (м.Тернопіль, 1992); 12-му Міжнародному конгресі IFAC (м.Єреван, 1992); Науково-технічній конференції "Техавтоматика-93" (м.Синферополь, 1993); Міжнародній науковій конференції "Моделювання виробничих процесів і сільськогосподарських машин" (Мінськ, 1994).

Крім того, розробки були представлені на республіканських і всесоюзних виставках, нагороджені дипломами та срібною медаллю ВДНГ СРСР.

Публікації результатів досліджень.

Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень викладені у 45 друкованих працях.

**Обсяг та структура роботи.**

Дисертація викладена на 312 сторінках друкованого тексту,

складається з вступу, шести розділів, висновків, списку літератури, додатків, 6 таблиць, 45 малюнків. Список літератури включає 685 назв, в тому числі 159 іноземними мовами.

В першому розділі розглянуто стан проблеми і загальні характеристики рослинної біосистеми як об'єкту ідентифікації.

Дослідженню моделей рослинних біосистем присвячені роботи Антономова В.Г., Батигіна М.М., Біхеле З.Н., Гірника М.Л., Гродзинського Д.М., Гуляєва Б.І., Жученка О.О., Ляпунова А.А., Молдау Х.А., Полуєктова Р.А., Росса В.К., Сиротенка О.Д., Тоомінга Х.Г., Цепкова Г.В., Чудновського А.Ф., Curry R.B., Idso S.B., McCree K.J., Monsi M., Saeki T., Thornley J.H.M., De Witt G.T. та ін.

Аналіз літературних даних дозволяє зробити висновок, що в більшості випадків при моделюванні рослинних біосистем основна увага була зосереджена на дослідженні продуктивності як інтегральної характеристики сорту, що створюється внаслідок дії факторів середовища. Але при цьому не розглядався функціональний стан рослини, закономірності його формування і впливу на загальну продуктивність. Швидкозмінні параметри життєдіяльності, найбільш цікаві з точки зору контролю поточного стану рослини, залишались поза межами моделювання.

Питання ідентифікації функціонального стану рослини розглядались в роботах Хазанової С.Г., Доршека А.С., Цепкова Г.В., Курця В.К., Дроздова С.М., Желева Д.Д., Шора І.Я. Але при цьому не враховувались внутрішні зв'язки в біосистемі й тенденції їх змін, що не дозволило виробити загальні принципи ідентифікації рослинних біосистем по експериментальним даним.

При експериментальних дослідженнях основною проблемою є стохастичний характер отримуваної від рослини інформації, який виявився серйозною перешкодою для вирішення задач ідентифікації, так як не дозволяє робити однозначні висновки про стан рослинної біосистеми. Це потребує створення відповідної технічної бази досліджень, автоматизованих систем фітомоніторингу, основним елементом яких є фітометричні датчики.

Значний внесок в розробку апаратури для вимірювання параметрів стану рослин та рослинних біосистем зробили Алейников О.Ф., Веселовський В.О., Гуляєв Б.І., Єрмаков Е.І., Заботін В.І., Ільницький О.А., Каганов М.А., Карманов В.Г., Клейман Е.І., Коловський Р.А., Литвінов А.М., Пасічний А.П., Радченко С.С., Рябова Е.П., Соловйов Е.В., Тон Ю.Д. Але необхідно відмітити деяку фрагментарність роз-

робок, пов'язану з відсутністю єдиної методологічної концепції фітометрії та фітомоніторингу.

Сучасний підхід до ідентифікації в умовах неповної апріорної інформації відзначається створенням інформаційно - вимірювальних систем дуального управління, здатних одержувати необхідну для ідентифікації моделі інформацію безпосередньо в процесі функціонування об'єкту. Структурно-функціональному синтезу таких систем присвячені роботи Васильєва В.І., Гірника М.Л., Івахненка А.Г., Мкртчяна В.С., Сікори Л.С., Скурихіна В.І., Єдіна Д.Б. Структура таких вимірювально - обчислювальних систем тісно пов'язана із структурою та функціями об'єкту ідентифікації. Але для рослинних біосистем практично відсутня апріорна інформація, необхідна для визначення цільової функції та набору параметрів стану, які б адекватно характеризували життєдіяльність рослин.

Пошук шляхів підвищення ефективності ідентифікації в умовах апріорної невизначеності, параметричної нестационарності і ресурсних обмежень ініціював розвиток теорії цілеспрямованих систем, які характеризуються підвищеною гнучкістю за рахунок використання моделей цільового простору та адаптивних стратегій поведінки. Методологія аналізу та синтезу цілеспрямованих систем розвинута в працях Драгана Я.П., Поспелова Д.А., Сікори Л.С., Солодовнікова В.В., Askoff R.L., Ashby W.R., Klir G.J. За принципами та ефективністю функціонування такі системи наближаються до рівня біологічних об'єктів. В ряді випадків теорія цілеспрямованих систем і стохастичного моделювання є єдиною можливим шляхом ідентифікації складних біосистем.

Таким чином, незважаючи на наявність публікацій, присвячених вирішенню окремих питань моделювання рослинних біосистем на основі апріорної та апостеріорної інформації, про стан рослин і середовища, проблема ідентифікації рослинних біосистем не розглядалась навіть у постановочному плані. В зв'язку з цим існує нагальна потреба в дослідженні особливостей взаємодії рослин з середовищем і розробці наукових основ ідентифікації таких біосистем.

В другому розділі проведений аналіз рослинних біосистем як об'єктів ідентифікації.

Як середовище, так і рослина є складними, багатомірними, нерозривно зв'язаними об'єктами. По відношенню до рослин середо-

вище являє собою систему більш високого рівня ієрархії і параметри його стану  $S$  є вхідними (управляючими координатами) для рослини. З іншого боку, виділені параметри функціонального стану рослини  $Z$ , які безпосередньо впливають на формування параметрів продуктивності  $Y$ . Структурно-функціональна модель рослинної біосистеми наведена на рис. 1.

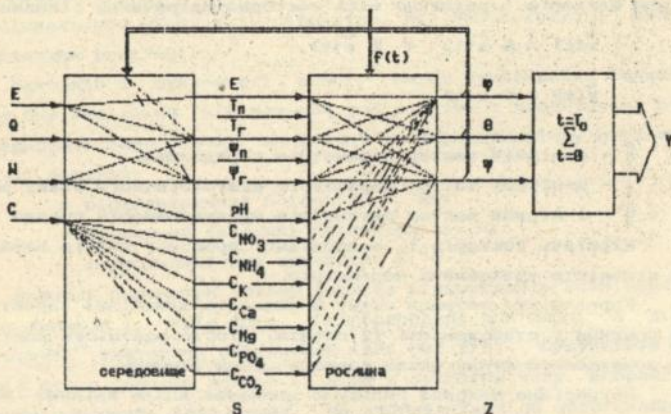


Рис. 1. Структурно-функціональна модель взаємозв'язків в рослинній біосистемі.

Ресурсні потоки:  $E$  - потоки сонячної радіації;  $Q$  - потоки теплоти;  $W$  - потоки вологи;  $C$  - потоки елементів живлення.

Вказані потоки, змінюючись в широких межах, визначають параметри середовища у вигляді температури і вологості повітря  $T_n, \Psi_n$  та ґрунту  $T_r, \Psi_r$ ; освітленості  $E$ , концентрація вуглекислоти і мінеральних речовин  $C_i$ . Кожний з параметрів середовища має свою динаміку, а їх сукупність може бути описана вектором  $\vec{s}(t)$ .

Згідно з сучасними уявленнями, рослина - це відкрита цілісна система, яка сприймає та перетворює потоки речовини, енергії та інформації із середовища, синтезуючи кінцевий продукт. В термінах простору сигналів стан рослини  $z(t)$  функціонально залежить від стану середовища  $s(t)$

$$z(t) = F [s(t)]. \quad (1)$$

Принципові обмеження таких моделей при їх використанні для багатомірних багатозв'язних рослинних біосистем полягають в не-

можливості поточної ідентифікації функціоналу  $F$  внаслідок суттєвої параметричної нестационарності та обмеженості життєвого циклу рослин. Крім того, стан рослини має динамічний характер і залежить не тільки від факторів середовища, а і від попереднього стану. В зв'язку з цим більш адекватним є опис рослиної біосистеми в термінах простору станів, де динамічний стан рослини описується вектором параметрів стану  $\vec{z}(t)$ , який зв'язаний з вектором факторів середовища  $\vec{s}(t)$  векторно-матричними рівняннями

$$\dot{\vec{z}}(t) = A \vec{z}(t) + B \vec{s}(t), \quad (2)$$

$$\vec{y}(t) = C \vec{z}(t), \quad (3)$$

де  $\vec{s}$  -  $n$ -мірний вектор параметрів середовища;  
 $\vec{z}$  -  $m$ -мірний вектор параметрів фізіологічного стану рослини;  
 $\vec{y}$  -  $l$ -мірний вектор параметрів продуктивності рослини.

Мірність векторів  $i$ , відповідно, простору станів визначається кількістю урахованих параметрів.

Кореляційна матриця стану  $A$  визначає динамічні характеристики рослини і стабільність її станів, тобто здатність повертатись до початкового стану після короткотривалих збурень.

Регресійна матриця впливу  $B$  визначає вплив вхідних змінних середовища на параметри стану рослини.

Матриця  $C$  визначає зв'язок поточних параметрів стану рослини та її вихідних параметрів (продуктивності, приросту біомаси або іншого продукту життєдіяльності).

Матриці  $A, B$  і  $C$  мають розмір  $(m \times m)$ ,  $(m \times n)$  і  $(l \times m)$  відповідно. В завданні ідентифікації входило визначення розмірності векторів  $\vec{s}$ ,  $\vec{z}$  і  $\vec{y}$ , а також коефіцієнтів матриць. В загальному випадку коефіцієнти матриць є нелінійними функціями, що залежать від часу. Тому необхідно було визначити умови, за яких лінійна модель придатна до достовірної ідентифікації такого складного об'єкту, як рослинна біосистема.

Основною вимогою при виборі параметрів стану була їх вимірюваність в експерименті, що викликано необхідністю поточної ідентифікації моделі. Для визначення мінімально необхідної кількості параметрів стану із ряду вимірюваних параметрів відбирались найбільш стабільні і одночасно чутливі до зовнішніх впливів. Частина параметрів з тісними кореляційними зв'язками, близькими до одини-

ці, виключались з подальшого розгляду як інформаційно надлишкові. До розгляду приймались лише ті з них, між якими був найменший кореляційний зв'язок. Тобто одним з критеріїв визначення найбільш інформативного набору змінних стану були мінімальні значення коефіцієнтів кореляції.

Оскільки життєздатність рослин в нормальних і екстремальних умовах в першу чергу пов'язана з якістю функціонування регуляторних систем рослини, найбільш інформативними для ідентифікації функціонального стану є ті параметри, які безпосередньо зв'язані з системами регуляції.

Виходячи з сукупності вимог, серед вимірюваних параметрів стану був виділений мінімальний набір з трьох параметрів, що характеризують енергетичну, осмотичну та термодинамічну системи регуляції рослини:

- біоелектричний потенціал  $\phi$ , мВ;
- тургорний (водний) потенціал  $\psi$ , %;
- термодинамічний потенціал  $\theta$ , °С.

Вказані параметри стану рослини відповідають всім перерахованим вимогам і, крім того, безпосередньо пов'язані з діючими ресурсними факторами середовища (див. рис. 1). Сукупність параметрів стану складає вектор  $\vec{z}$ , який є функцією часу. Вибрані компоненти утворюють його базис, що наближається до ортогонального. Ортогональність визначається корельованістю параметрів стану або недіагональними елементами матриці стану  $A$ .

Для побудови моделей в просторі станів необхідно виявити зв'язок між сукупністю параметрів стану рослини  $Z$  і сукупністю параметрів стану середовища  $S$ . В загальному випадку здійснити це аналітичним шляхом неможливо, так як «ножина станів рослини  $Z$  відноситься до класу нечітких.

Але при умові нерозривності і диференційованості функції  $z(t)$ , в кожен момент часу між параметрами стану рослини і параметрами середовища існує взаємозв'язок, що відображується матрицею  $-A^{-1}B$

$$z(t) = [-A^{-1}B] * s(t). \quad (4)$$

Матриця  $A^{-1}B$  із змінними в часі коефіцієнтами визначає чутливість параметрів стану рослини до дії факторів середовища.

Матриця  $C$  відображує генетично обумовлений зв'язок між сукупністю вихідних параметрів продуктивності  $Y$ , сукупністю параметрів поточного стану  $Z$  і середовища  $S$  як у просторі станів ро-

слини, так і у просторі факторів середовища  $[-CA^{-1}B]$

$$y(t) = C z(t) = [-CA^{-1}B] * z(t) \quad (5)$$

Проблема ідентифікації функціонального стану рослини полягає, таким чином, у визначенні умов спостереження, або такого інтервалу спостереження  $T_c$ , на якому  $\dot{z}(t) \approx 0$  і матриці  $A$ ,  $B$  приймаються умовно стаціонарними. В такому разі безперервна ідентифікація замінюється рекурентними процедурами статистичного оцінювання моделі на обраному інтервалі.

Інерційність процесів структуроутворення значно більша, ніж поточних параметрів життєдіяльності, і тому ідентифікація матриці  $C$  здійснюється на більших інтервалах часу - на інтервалі накопичення  $T_n$  ( $T_n > T_c$ ). Якщо на цьому інтервалі часу похідна  $\dot{y}(t) \approx 0$ , то матриця  $C$  теж приймалась умовно стаціонарною.

Враховуючи, що пряма параметрична ідентифікація моделі неможлива, запропонований інженерний підхід до побудови моделей рослинних біосистем, який полягає у визначенні умов локальної квазістаціонарності і прямій ідентифікації окремих областей простору станів безпосередньо з вимірювального експеримента.

Структура моделі показує, що функціональний стан рослини можливо характеризувати тільки в зв'язку з певним комплексом діючих факторів зовнішнього середовища, причому з урахуванням їх динаміки. Це вимагає визначення категорії простору станів  $\Omega$  як множини образів динамічних станів (ОДС) рослинної біосистеми. Образ динамічного стану ОДС( $z, t$ ) включає в себе характеристики поточного стану рослини  $z(t)$ , а також його динамічні і статистичні оцінки  $stat z(t)$  на інтервалі спостереження  $T_c$ .

$$ОДС(z, t | T_c) = ( z(t), s(t), \dot{z}(t), \dot{s}(t), stat z, stat s ). \quad (6)$$

Динаміка вектора  $\dot{z}(t)$  характеризує якість функціонування систем авторегуляції рослини, а кореляційні зв'язки між параметрами визначаються інтервальними статистичними оцінками. Таким чином, однозначна характеристика стану рослини дається тільки на основі сукупності динамічних і статистичних оцінок. Умовою використання лінійної моделі для опису рослинної біосистеми є припущення квазістаціонарності параметрів стану на інтервалі спостереження  $T_c$ .

В такому разі ОДС є адекватним відображенням динамічного стану рослини за обмеженому інтервалі часу і складає інформаційний базис для ідентифікації моделей і окремих областей у просторі станів. Параметричні моделі в просторі станів замінюються сукупністю ОДС за попередні інтервали спостереження, які статистично сумуються на інтервалі накопичення інформації  $T_H$

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \text{ОДС}_i(t|T_C), \quad \text{де: } n = T_H/T_C. \quad (7)$$

Модель в просторі станів описує імовірність реалізації потенціальної продуктивності рослини. Модель є динамічною, так як на інтервалі  $T_H$  матриці  $A$  і  $B$  суттєво нестационарні. Враховуючи, що на протязі життєвого циклу  $T_X$  стратегії життєдіяльності можуть змінюватись, модель є адаптивною, причому корекція здійснюється на інтервалах  $T_H$ . Сукупність моделей являє собою цільовий простір рослиниої біосистеми

$$\Pi_{\Omega} = \sum_{j=1}^m \Omega_j, \quad \text{де: } m = T_X/T_H. \quad (8)$$

Розроблені принципи дискретизації життєвого циклу на інтервали різної тривалості були покладені в основу формування адаптивних моделей в просторі станів та ідентифікації на цій основі поточного стану рослин. Але недостатність знань про динамічні і статистичні характеристики параметрів стану рослини та особливості отримуваної від них інформації вимагали додаткових досліджень.

Третій розділ присвячено аналізу параметрів стану рослини та їх інформативності для вирішення задач поточної ідентифікації.

В основу оцінки інформативності параметрів стану рослин для вирішення задач ідентифікації було покладено визначення характеру їх взаємозв'язку з ресурсними факторами середовища. Зв'язок між вибраними параметрами функціонального стану рослини і параметрами стану середовища відображується сукупністю диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= [s_{\text{вх}}(\varphi, t) - s_{\text{вих}}(t)] g_{S\varphi}(t, \tau), \\ \frac{d\psi}{dt} &= [s_{\text{вх}}(\psi, t) - s_{\text{вих}}(t)] g_{S\psi}(t, \tau), \\ \frac{d\theta}{dt} &= [s_{\text{вх}}(\theta, t) - s_{\text{вих}}(t)] g_{S\theta}(t, \tau), \end{aligned} \quad (9)$$

- де  $\varepsilon_{\text{внх}}(z, t)$  - ресурсні потоки із середовища до рослини;  
 $\varepsilon_{\text{внх}}(t)$  - частка ресурсів середовища, що використовуються рослиною для структуроутворення;  
 $\varepsilon_{\text{сп}}, \varepsilon_{\text{сп}}, \varepsilon_{\text{сп}}$  - оператори взаємозв'язку відповідно біоелектричного, тургорного і термодинамічного потенціалів з потоками ресурсів.

Всі три вибраних параметри стану відображують балансні співвідношення в рослині по різних ресурсним каналам. Тургорний потенціал - баланс між процесами поглинання води через корені і випаровуванням  $Y$  в атмосферу, термодинамічний - між теплотою, що надходить до рослини з потоками сонячної радіації та  $Y$  випромінюванням шляхом конвективного і дифузійного теплообміну, а біоелектричний потенціал - енергетичний баланс в рослині, який визначається надходженням вільної енергії світла,  $Y$  запасанням і витратами на структуроутворення.

Рівняння (9) побудовані в припущенні некорельованості параметрів стічу і дозволяють в першому наближенні охарактеризувати динамічні властивості рослини як об'єктів ідентифікації.

Експериментальні дослідження динамічних характеристик проводились з метою вивчення впливу факторів середовища на обрані параметри стану і уточнення характерних швидкостей  $Y$  зміни для обґрунтування технологічних параметрів системи ідентифікації.

Статистичний аналіз експериментальних даних показав, що нестационарність і неергодичність первинних інформаційних характеристик параметрів стану пов'язані з власною активністю рослини. Тривалість циклів активності внутрішніх систем регуляції знаходиться в межах години. В умовах стабілізації зовнішніх факторів амплітуда флуктуацій параметру стану досить незначна і характеризує вплив факторів, дію яких важко врахувати. Кількісною мірою дії зовнішніх і внутрішніх факторів є дисперсія  $D_z$  параметру стану, визначена на інтервалі  $T_c$ .

Стабільність стану  $\delta$  визначається рівнянням

$$\delta(t|T_c) = D_z(t|T_c)^{1/2} / M_z(t|T_c), \quad (10)$$

де  $M_z$  - математичне очікування параметру стану.

Характеристична постійна часу функції  $M_z(t)$  знаходиться в межах 22-24 год і визначає тим самим тривалість інтервалу накопи-

чення  $T_n$ .

Високий рівень стабільності, характерний як для низькоактивного, так і для високоактивного стану, а різниця між ними проявляється тільки в динаміці взаємодії рослини з середовищем. В зв'язку з слабкою спостережуваністю стану використовувалось дистанційне зондування рослини імпульсним періодичним сигналом по каналу освітленості. Визначення спектральних енергетичних характеристик підтвердило, що різним функціональним станом рослини відповідає своя вагова функція відгуку і статистичні характеристики параметрів стану.

Для оцінки порядку вагової функції  $g(z, t)$  в першому (лінійному) наближенні та діапазону інформаційно-значущих частот, використовувався метод амплітудно-частотних характеристик (АЧХ). На рис. 2 представлені АЧХ біоселективного потенціалу, які вимірювались в стаціонарному режимі на фіксованих частотах від  $10^{-5}$  до 0,2 Гц. По осі ординат відкладена амплітуда першої гармоніки біопотенціалу.

Аналіз АЧХ, імпульсних перехідних функцій та фазових портретів рослин дозволив виявити резонанси з характерними постійними часу  $\tau_1 = 40-60$  хв і  $\tau_2 = 8-12$  хв, які пов'язані з власною ритмічною активністю рослини.

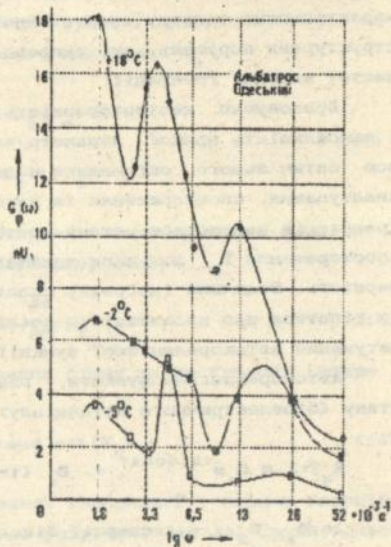


Рис. 2. Динамічні характеристики функціонального стану рослини озимої пшениці при різних температурах.

Із рис. 2 видно, що АЧХ суттєво змінюються під впливом факторів зовнішнього середовища, зокрема температури, що пов'язано із зміною ефективності структуроутворення. При пониженні температури функціональна активність і ефективність перетворення ресурсів зменшується, наближаючись до нуля в діапазоні мінусових температур.

Кількісний аналіз спектральних характеристик показав, що при змінах параметрів середовища в межах діапазону оптимальних значень зовнішніх факторів (при температурах  $+25 \dots +15^{\circ}\text{C}$ ) спектральна енергетична характеристика зберігає свою стаціонарність. Нестационарність  $G_z(\omega)$  і зсув енергетичного спектру в область високих частот з появою нових резонансів ( $\tau = 1-4\text{хв}$ ) пов'язані із зміною характеру функціонування рослини.

Показником погіршення функціонального стану є стійке відхилення траєкторії параметру стану від початкового положення і зростання його дисперсії  $D_z$ . Максимум дисперсії визначає межі параметричної стійкості біосистеми. Зміна амплітудних і частотних характеристик спектру енергетичної активності  $G_z(\omega)$  є показником структурних порушень, які супроводжуються зміною характеристичних частот власної генерації.

Враховуючи нестационарність динамічних характеристик стану і неможливість прямої параметричної ідентифікації моделі, основною оптимальною оцінювання моделей було визначення інтервалів квантування, спостереження та накопичення інформації. При цьому траєкторія параметрів стану розбивалась на дискретні інтервали спостереження  $T_c$ , для яких приймалося припущення про квазістаціонарність. Величина інтервалу спостереження визначалась, виходячи із гіпотези про незалежність реалізацій (шляхом оцінювання часу затухання автокореляційної функції).

Автокореляційна функція, визначена для одного із параметрів стану (біоелектричного потенціалу), має вигляд

$$R_z(\tau) = b_1 e^{-0,0003\tau} + b_2 (1 - e^{-0,0003\tau}) \sin \omega_0 \tau \quad (11)$$

де  $b_1, b_2$  - дисперсії біоелектричного потенціалу рослини у стаціонарному і збудженому станах.

З рівняння (11) видно, що біоелектричний потенціал є періодично-корельованою функцією і повної незалежності двох реалізацій немає. Однак, якщо врахувати, що в нормальному стані  $b_1 > b_2$  і автокореляційна функція визначається головним чином першим членом, то  $T_c = 1/0,0003 = 3300\text{с}$ .

Аналогічний підхід, використаний для решти параметрів стану, дозволив уточнити як інтервал спостереження, так і періодичність контролю. Згідно з теоремою Котельникова, дискретність вимірювань

$\Delta t = 30\text{с}$  визначалась, виходячи з максимальної частоти власних коливань  $\omega_0 = 0,16\text{с}^{-1}$ .

Наближення до границь стійкості супроводжується збільшенням другого члену рівняння (11), що вимагає використання статистичних оцінок параметрів стану  $stat z(t)$ . В нашому випадку набір статистичних оцінок включає в себе: математичне очікування параметру стану  $M_z(t)$ , дисперсію  $D_z(t)$ , зміщення траєкторії  $\Delta z(t)$ , тренд  $tend z(t)$ , функції густини розподілу параметрів стану  $P_z(z_0, t)$ , функції правдоподібності  $L_z(t)$ , кореляції  $R_z(\tau)$ , та спектральної густини  $G_z(\omega)$ .

Статистична оцінка траєкторії стану на інтервалі спостереження  $T_C$  здійснювалась за допомогою функції правдоподібності параметру стану  $z$  відносно початкового положення  $z_0$

$$L_z(t|T_C) = \prod_{m=1}^m P_z(z_0, t) \quad (12)$$

$$\hat{z} = \arg \max L_z(t|T_C) ,$$

Тенденція зміни стану на інтервалі спостереження визначається знаком і швидкістю зміни параметру стану

$$tend z(t|T_C) = \left[ M \frac{\partial z}{\partial t} \right]_{T_C} , \quad (13)$$

і використовується для прогнозування стану на наступному інтервалі часу

$$z(t+\tau) = z(t) + tend z(t|T_C) \tau . \quad (14)$$

Згідно з характером отримуваної інформації і різною інерційністю параметрів стану, вони були розділені на дві групи: диференціальні параметри, пов'язані з поточним функціональним станом, і інтегральні параметри, пов'язані з структуроутворенням (біомаса, продуктивність). Перші характеризуються відносно малими постійними часу (40-60 хв) і дозволяють визначати поточний функціональний стан, а другі характеризуються великими постійними часу (в межах доби) і є основою формування адаптивних моделей у просторі станів.

На основі проведених досліджень було розроблено спосіб визначення функціонального стану рослини, що базується на виявлених закономірностях змін динамічних характеристик рослин при дії несприятливих факторів середовища (А.с.СРСР N1303060, 1986). Було

підтверджено адаптивний характер функціонування рослини та обґрунтовані технологічні параметри системи ідентифікації: час квантування, інтервал спостереження і інтервал накопичення інформації. Оскільки функціональний стан рослини визначається сукупністю динамічних і статистичних оцінок, зручною для ідентифікації характеристикою є образ динамічного стану СДС, який об'єднує в собі ці два класи оцінок на інтервалі спостереження  $T_C$  і має слідувачий інформаційний базис:

- 1) динамічні оцінки на інтервалах  $\Delta t$  и  $T_C$ :  $z(t)$ ,  $\dot{z}(t)$ ,  $\text{tend } z(t)$ ;  $G_z(\omega)$ ,  $G_{\dot{z}}(\omega)$ ;
- 2) статистичні оцінки  $z(t)$  на інтервалі  $T_C$ :  $M, D, P, L$ .

Виявлені особливості функціонування рослинних біосистем і пов'язана з цим необхідність обчислення вказаних статистичних характеристик в реальному масштабі часу обумовили необхідність розробки датчиків і перетворювачів, придатних до тривалих досліджень.

Четвертий розділ присвячений розробці методів та технічних засобів для отримання інформації від рослинних об'єктів.

Як було встановлено в попередніх дослідженнях, розробка фітотометричних датчиків та вимірювальної апаратури пов'язана із специфічними технічними вимогами до методів та технічних засобів отримання інформації від рослини. Висока чутливість рослин до впливу зовнішніх факторів вимагала розробки датчиків принципово нового типу, що поєднують в собі достатню чутливість, стійкість до збурень і мінімальний вплив на рослину.

В зв'язку з недостатньою розробленістю фітотометричної апаратури проводились дослідження по виявленню інформаційних компонентів вимірюваних сигналів і створенню оригінальних датчиків для тривалого неушкоджуючого контролю життєдіяльності рослини. З цієї метою розроблена схема вимірювального перетворювача з вхідним імпедансом 100 ГОм, що на декілька порядків вище власного імпедансу рослини.

Для вимірювання біоелектричних потенціалів рослини в широкому діапазоні зміни температури і вологості повітря були розроблені твердотільні графіт-гліцеринові і графітові датчики біопотенціалів на основі хімічно чистого графіту, які мали високу стабільність.

Для вимірювання тургорного потенціалу рослини розроблено чутливий спосіб оцінювання тургесцентності цілісних рослин і датчик, що ґрунтується на принципі дистанційного зондування положення листка (а.с. N1346064, N1384270, N1544277).

Мінімізація похибки вимірювань досягалась шляхом одночасного вимірювання параметрів стану декількох рослин. Для визначення необхідної кількості датчиків з урахуванням просторово-часової неоднорідності вимірюваних параметрів використовувався модифікований метод вузлів за допомогою інтерполяційного поліному Лагранжа. Функціоналом, що підлягав мінімізації, був залишковий член поліному Лагранжа

$$R_n(x) = \frac{z^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!} \prod_{l=0}^n (x-x_l), \quad (15)$$

де  $n$  - кількість вузлів інтерполяції;

$z^{(n+1)}(\xi)$  - похідна  $n$ -го порядку від функції параметру стану;

$x_l$  -  $l$ -й вузол інтерполяції.

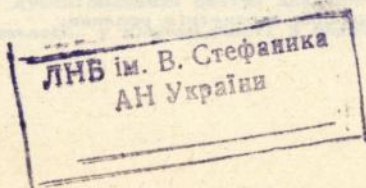
Аналітичне рішення знайдено у вигляді

$$R_n(z) \leq \frac{|\Delta^{n+1}| z \int |\ln(n+1) - 1| e^{\frac{1}{\ln(n+1)}}}{2,409 n \ln^2(n+1)}, \quad (16)$$

яке при  $n \rightarrow \infty$  прямує до нуля.

По розробленій методиці визначена кількість датчиків, що потрібна для вимірювання параметрів стану на фоні стохастичних збурень з боку середовища з заданою точністю, а також кількість повторностей вимірювань в кожній точці. Максимально можлива точність обмежується нестационарністю параметрів стану, яка, в свою чергу, характеризується дисперсією і величиною інтервала спостереження  $T_G$ .

Розроблені датчики відкрили можливість для одночасного вимірювання ряду параметрів життєдіяльності рослин та їх змін під дією факторів середовища і формування таким чином адаптивних моделей в просторі станів для різноманітних рослинних біосистем.



П'ятий розділ присвячений розробці питань структурно-функціонального синтезу системи ідентифікації рослинних біосистем.

Для детального дослідження параметрів стану рослин та виявлення всіх джерел інформації про їх життєдіяльність було створено спеціальну інформаційно-вимірвальну систему (ІВС), яка виконувала такі функції: вимірювання параметрів стану рослин, реєстрацію інформації в реальному масштабі часу, збереження і наступної її обробки як в процесі експерименту, так і після його закінчення, управління експериментом за результатами обробки інформації, алгоритмічної обробки та накопичення інформації, забезпечення операцій із символічною та графічною інформацією в діалоговому режимі з ПЕОМ.

Для раціональної структурної організації ІВС потрібна інформація про контрольовані параметри та спектральні характеристики збудень. Цю інформацію можна отримати на основі побудови та аналізу інформаційної моделі (ІМ) системи (рис.3).

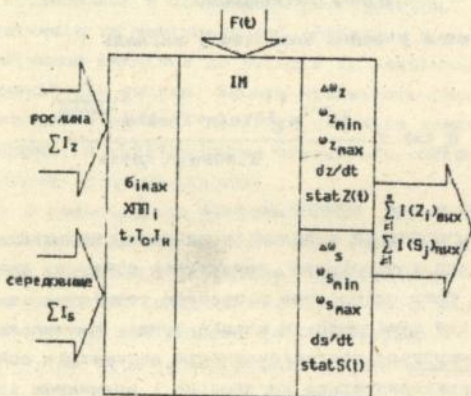


Рис.3. Інформаційна модель контролю рослинної біосистеми.

Інформаційні потоки можна розділити на 4 групи:

1) Параметри стану рослинної біосистеми:

Z - масив контрольованих параметрів рослини;

S - масив контрольованих параметрів середовища;

F - масив збурень.

2) Динамічні оцінки:

$[dz_i/dt], [ds_j/dt], [df_k/dt]$  - швидкість зміни параметрів стану і збурень;

3) Статистичні оцінки (stat):

$M(t), D(t), P, L, R, G$  - часові, спектральні, імовірнісні характеристики параметрів стану.

$\Delta\omega$  - діапазон частот, в якому знаходиться і-тий параметр стану із заданою імовірністю  $p_i$ ;

$\omega_{i(\min)}, \omega_{i(\max)}$  - межі частотного діапазону, в яких змінюється і-й параметр стану;

$\omega_0$  - частота, що відповідає мінімуму спектральної густини збурень.

4) Гранично припустимі похибки вимірювань  $\delta_{i(\max)}$ , задана якість процесу вимірювань, характеристики первинних перетворювачів (ХПП).

Сумарні інформаційні потоки визначаються об'ємами вхідної ( $I_{вх}$ ) та вихідної ( $I_{вих}$ ) інформації:

$$\begin{aligned} \sum I_{i \text{ вх}} &, \sum I_{j \text{ вих}} &, i \in [1, m], j \in [1, n] \\ \sum I_{\text{вих}} &= \langle Z, S, F, z, s, f, \text{stat} [z(t), s(t), f(t)] \rangle \end{aligned} \quad (1')$$

Інформаційна модель визначає технічні вимоги до периферійного обладнання і структури системи ідентифікації.

У зв'язку з стохастичним характером інформації, отримуваної від рослини і нестационарністю моделі об'єкту, запропонований принципово новий підхід до структурно-функціонального синтезу ІВС шляхом перенесення центру ваги на елементи інформаційної структури. Новизна підходу полягає у перенесенні інформації з фізичного простору сигналів в інформаційний простір станів у вигляді ОДС. Ця інформація переноситься за допомогою електромагнітних, акустичних і оптичних сигналів, які відображують функціонування рослинної біосистеми. Статистичні оцінки параметрів стану на обраному інтервалі спостереження становлять інформаційну базу для формування моделей і статистичної ідентифікації шляхом перевірки гіпотез.

Структурно-функціональний синтез адаптивної системи ідентифікації здійснювався у відповідності з схемою, представленою на рис. 4.

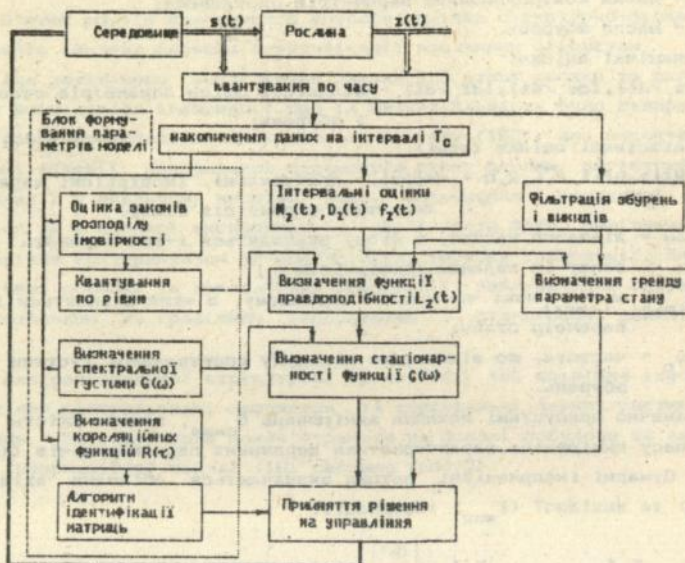


Рис. 4. Схема функціонування системи ідентифікації рослини у біосистемі

Система складається з технічного та програмного забезпечення та призначається для розв'язання широкого кола задач: спостереження, ідентифікації процесів життєдіяльності з можливістю управління рослиною біосистемою. Технічне забезпечення дозволило вимірювати, перетворювати та передавати в ПЕОМ первинну інформацію про стан рослин і середовища. Програмне забезпечення ПЕОМ гарантувало спостережуваність та керованість за рахунок використання в алгоритмах елементів адаптації та самонавчання.

Розробка програмного забезпечення здійснювалась на базі проведених теоретичних та експериментальних досліджень і розроблених алгоритмів з урахуванням інформаційної моделі об'єкту ідентифіка-

ції. Базова програма складалась з 11 автономних підпрограм, функції яких наведено в таблиці.

N шп	Назва під- програми	Функція підпрограми
1	MPM.LOAD	Ініціалізація прийомо-передавального пристрою та підготовка каналу зв'язку для передавання інформації
2	MIF.EXE	Збирання даних і перетворення в натуральні величини з урахуванням статичних характеристик датчиків
3	HUB	Фільтрація випадкових викидів (робастні оцінювання за Хінбером)
4	CALM	Фільтрація збурень у каналі вимірювання (фільтр Калмана)
5	DISP	Оцінювання математичного очікування та дисперсії на інтервалі $T_c$
6	SPEKTR	Оцінювання спектральної густини вимірюваного сигналу
7	KORR	Оцінювання кореляційної функції
8	GRAF	Індикація траєкторій параметрів в масштабі поточного часу
9	FASP	Побудова фазового портрету біосистеми
10	BAJES	Перевірка статистичних гіпотез
11	IDENT	Ідентифікація коефіцієнтів моделі

При розробці програм використовувались стандартні процедури, а програми визначення коефіцієнтів моделі та прийняття рішень шляхом перевірки статистичних гіпотез розроблені автором в рамках поставлених в роботі задач.

Ідентифікація коефіцієнтів моделі здійснюється періодично через короткі проміжки часу безпосередньо з вимірюваних даних. Одержані в результаті окремого вимірювання на  $k$ -тому інтервалі спостереження дані утворюють вектор  $\bar{V}(t_k)$ :

$$\bar{V}(t_k) = [z_1(t_k), z_2(t_k), \dots, z_m(t_k); \hat{s}_1(t_k), \hat{s}_2(t_k), \dots, \hat{s}_n(t_k)]. \quad (18)$$

За результатами  $r$  вимірювань в межах  $k$ -го інтервалу спостереження формується впорядкована в часі матриця  $V$  розміру  $r \times (m+n)$



Для реалізації запропонованого статистичного підходу розроблена концептуальна структура системи ідентифікації рослинних біосистем (РБС), яка містить в собі вимірювальні перетворювачі ВП, процесор оцінки статистичних характеристик траєкторій (ПОСХ), який формує образи динамічного стану ОДС, формувач адаптивних моделей (ФМ) і накопичувач інформації (НІ), який формує моделі областей простору станів рослинної біосистеми на основі самонавчання та адаптації. Процесор перевірки гіпотез (ППГ) здійснює прийняття рішень на управління виконувачими механізмами шляхом порівняння поточного ОДС з еталонними моделями областей простору станів біосистеми. Таким чином, крім елементів, характерних для класичної структури ІВС, система містить ряд елементів інформаційної структури. Для забезпечення безумовної спостережуваності стану рослини розроблена підсистема дистанційного зондування стану за допомогою генератора зондуючого сигналу (ГЗС) та процесора обробки відбитого сигналу (ПОС).

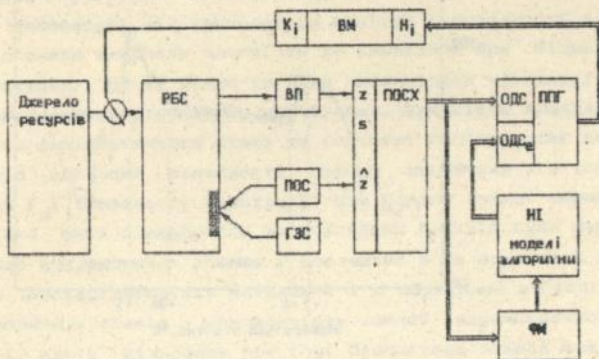


Рис. 5. Концептуальна структура системи ідентифікації

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень була синтезована автоматизована система, що призначена для отримання та обробки інформації про стан рослини і являє собою програмно-апаратний комплекс на базі клімокамери KTLK-1250 та ПЕОМ і включає в себе 16 вимірювальних каналів з нормуючими і масштабуючими перетворювачами, комутатор, 14-розрядний аналого-цифровий перетворювач, лінію зв'язку з двоонаправленими портами RS-232 та буферний накопичувач інформації.

В шостому розділі наведені результати експериментальних досліджень термостійкості рослин та їх адаптації до низьких температур. В основу кількісної оцінки було покладено адаптивну модель рослинної біосистеми, що відображує функціональний стан рослини та його зміни у просторі станів середовища.

Завдяки використанню такої моделі вперше з'явилась можливість вивчення адаптаційних реакцій рослин до дії факторів середовища. При зміні температури повітря в діапазоні  $-20 \dots +60$  °C виявлено, що в просторі станів середовища існує сукупність особливих точок, в яких похідна параметру стану рослини змінює знак. Такі екстремуми параметрів стану спостерігались як при підвищенні, так і при зниженні температури і використовувались для поділу простору станів на окремі області (рис. 6.)

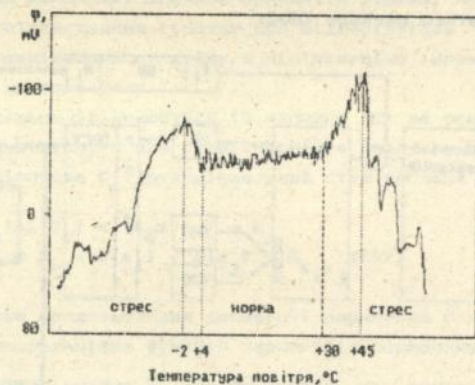


Рис. 6. Залежність біоелектричного потенціалу рослини озимої пшениці сорту "Міронівська-808" від температури. Особливі точки: +4, +30 - межі параметричної стійкості; -2, +45 - межі структурної стійкості.

Сукупність цих точок у багатомірному просторі станів утворює поверхні, які характеризують стійкість рослин до тих чи інших факторів середовища. Це узгоджується з загальноприйнятою в фізіології класифікацією функціональних станів на норму і стрес. Ідентифікація стану рослинної біосистеми передбачає кількісну оцінку міри стресового впливу факторів середовища на життєдіяль-

ність і виявлення меж норми, стресу та виживання, що потрібно для рослинництва і практичної селекції.

Відносно селекційного процесу задача ідентифікації вирішувалась в такій послідовності:

1. Ідентифікація особливих точок;
2. Ідентифікація функціонального стану рослини в кожній з областей простору станів та побудова моделі в просторі станів.

Використання автоматизованої системи ідентифікації дозволило вперше дослідити процеси низькотемпературних адаптацій у різних рослин і побудувати моделі в просторі станів безпосередньо в процесі активної життєдіяльності.

Адаптивність процесу ідентифікації полягала в тому, що модель відстежувала зміни функціонального стану рослини під впливом мінусових температур в діапазоні адаптації ( $0 \dots -4^{\circ}\text{C}$ ). В основу ідентифікації був покладений принцип неушкоджуючого визначення меж виживання рослини завдяки реєстрації первинних реакцій, які передують структурним пошкодженням.

В залежності від температури повітря і тривалості адаптації, озимі рослини виявляли здатність до виживання при більш низьких температурах. Це зв'язано із дією механізмів адаптації рослини, які забезпечують структурні перебудови. Швидкість адаптації залежить від фізіологічного стану та сортових особливостей рослини. На рис. 7а, б показані залежності порогу виживання від температури повітря  $T_{\text{п}}$  і тривалості адаптації для рослин озимої пшениці.

Така нестаціонарність адаптаційних реакцій була характерна виключно для зимуючих рослин і пов'язана з їх переходом до стану спокою. Нестационарність матриць А і В обумовлює нестаціонарність фізіологічних станів і неможливість точної параметричної ідентифікації, але в цільовому просторі біосистеми завжди можливо визначити області норми, стресу і виживання, які відповідають межам параметричної і структурної стійкості.

На цьому принципі побудована оптимальна стратегія селекційного процесу, коли на фоні діючого стресового фактора вибраковують рослини з малим діапазоном норми, а рослини з широким і стабільним діапазоном норми виділяють як стійкі.

Установка випробовувалась для розв'язування задач ідентифікації якості і стійкості різних сортів пшениці та кукурудзи і показала свою високу ефективність для рішення селекційних та фізіологічних задач. Економічна ефективність створюється за рахунок істотного скорочення трудовитрат по оцінюванню нових перспе-

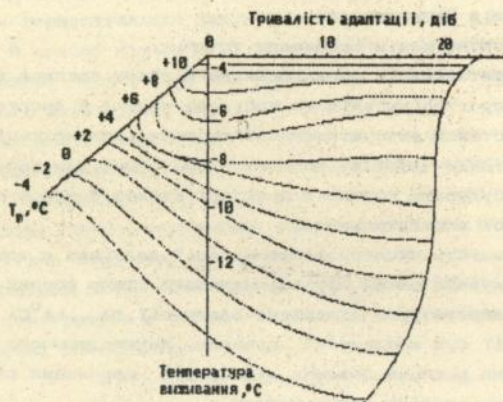


Рис.7а. Модель області вирощування в просторі станів для озимої пшениці "Альбатрос Одеський"

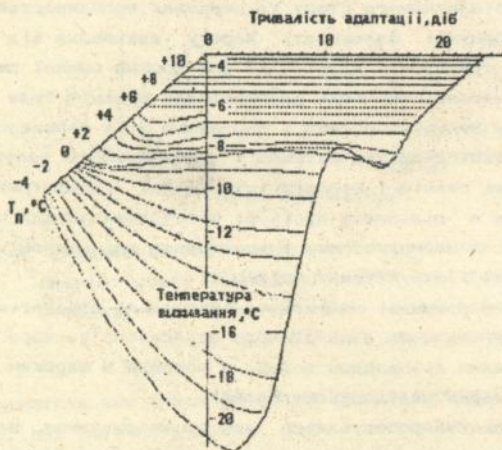


Рис.7б. Модель області вирощування в просторі станів для озимої пшениці "Миронівська-808"

ктивних сортів, збільшення виходу перспективних ліній - донорів стійкості.

#### ВИСНОВКИ

1. Розроблений новий науковий підхід до ідентифікації рослинних біосистем шляхом системного моделювання і побудови багатомірних моделей "рослина-середовище" з урахуванням параметрів стану рослини, середовища і взаємозв'язків між ними за допомогою кореляційних та регресійних матриць, що відкриває можливості для спостереження за функціональним станом рослин, встановленням причин його змін та цілеспрямованого управління рослинними біосистемами.
2. Розроблена концепція прямої параметричної ідентифікації адаптивних моделей рослинних біосистем у просторі станів, яка базується на безперервному вимірюванні найбільш інформативних параметрів стану рослини, оцінюванні та алгоритмічній обробці експериментальних даних і статистичному моделюванні багатомірних рослинних біосистем на основі апріорної та апостеріорної інформації.
3. Встановлені найбільш інформативні для ідентифікації параметри функціонального стану рослини - біоелектричний, термодинамічний та тургорний потенціали, які утворюють ортогональний базис вектора стану і доступні для спостережень в процесі життєдіяльності. Розроблено комплекс нешкодливих рослин параметричних датчиків біоелектричного та тургорного потенціалів ( а.с. СРСР N1346064, N1384270 і N1544277), а також автоматизовану установку, що забезпечило безперервність отримання інформації про енергетичний, водний та термодинамічний режими життєдіяльності рослини на протязі тривалого часу.
4. На основі інтерполяційного поліному Лагранжа розроблена методика, яка дозволила визначити кількість датчиків, необхідну для вимірювання параметрів стану з заданою точністю, а також кількість повторностей вимірювань в кожній точці. Максимально можлива точність обмежується нестационарністю параметрів стану, яка характеризується статистичними оцінками і величиною інтервалу спостереження  $T_c$ .
5. Особливості первинної інформації, отримуваної від рослин (нестационарність, неергодичність), ускладнюють параметричну ідентифікацію коефіцієнтів моделі, в зв'язку з чим запропонований

інженерний підхід до ідентифікації рослинних біосистем через пряме визначення у просторі станів окремих областей, які відповідають різним режимам функціонування (функціональним станам) рослин. Така ідентифікація здійснюється на основі сукупності динамічних і статистичних оцінок траєкторій параметрів стану на інтервалі спостереження у вигляді образу динамічного стану ОДС, який однозначно характеризує функціональний стан рослини у просторі станів середовища. Формування адаптивних моделей рослинної біосистеми  $\Omega$  здійснюється на основі множин ОДС, визначених на протязі інтервалу накопичення інформації.

6. Особливості ідентифікації рослинних біосистем полягають у виявленні умов лінеаризації моделей, тобто визначенні інтервалів спостереження і накопичення інформації, на яких параметри моделей квазістаціонарні. Експериментальні дослідження динамічних характеристик рослини виявили ряд характеристичних частот, пов'язаних з активним характером життєдіяльності, які знаходяться в межах  $(3 \cdot 10^{-4} \dots 1,6 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1})$  і визначають діапазон інформаційно-значимих частот та параметри системи збору інформації: розрахункова періодичність квантування 10...30 с, величина інтервала спостереження  $T_c = 3000 \dots 3600$  с, інтервала накопичення інформації - 22...24 год.
7. Розроблений алгоритм ідентифікації функціонального стану рослини на основі періодичної перевірки статистичних гіпотез про стаціонарність стану, який базується на теорії прийняття рішень в умовах неповноти апріорної інформації з використанням моделей ОДС та моделей рослинних біосистем. Розроблена концептуальна структура системи ідентифікації, яка використовує ОДС як інформаційну одиницю процесів статистичного моделювання та розпізнавання і являє собою спостерігач динамічного стану з процесором статистичного оцінювання та розпізнавання ОДС.
8. Синтезована автоматизована система, що призначена для отримання та обробки інформації про стан рослин. Вона являє собою програмно-апаратний комплекс на базі клінокамери KTLK-1250 та ПЕОМ і включає в себе 16 вимірювальних каналів з нормуючими і масштабуючими перетворювачами, комутатор, 14-розрядний аналогоцифровий перетворювач, лінію зв'язку з двонаправленими портами RS-232 та буферний накопичувач інформації. Система, її програмне і технічне забезпечення перевірені в умовах споруд штучного клімату при варіаціях факторів середовища в межах:  $E=0 \dots 10 \text{ кЛк}$ ,  $T_p = -20 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Psi_{\text{пов}} = 40 \dots 100\%$ ,  $\Psi_{\text{грунту}} = 15 \dots 100\%$ .

9. Використання автоматизованої системи ідентифікації в селекції та екофізіологічних дослідженнях дозволило перевірити практичну цінність та адекватність розробленого підходу до побудови адаптивних моделей рослинних біосистем. При дослідженнях терmostійкості рослин за допомогою моделі виявлені особливі точки простору станів, в яких кардинально змінюється функціональний стан рослин, зокрема для рослин озимої пшениці сорту "Миронівська-808" при значеннях температури повітря ( $+38...40^{\circ}\text{C}$ ) і ( $-4...-6^{\circ}\text{C}$ ). Побудовані адаптивні моделі морозостійкості для двох сортів озимої пшениці - "Миронівська-808" і "Альбатрос Одеський" і виявлено їх характерні сортові відмінності, що має принципове значення для селекції рослин.
10. Розроблені технічні засоби та пристрої впроваджені в ряді тепличних комбінатів Києва та Київської області для контролю і раціонального управління режимами зволоження і живлення рослин. Отримувана від рослин інформація використовувалась для корекції технологічних режимів їх вирощування [а.с. СРСР N138427С, N1563639, і N1628980 ], що сприяло підвищенню врожайності та поліпшенню якості продукції.

#### ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Метод та технічні засоби ідентифікації рослинних біосистем рекомендуються для кількісної оцінки стійкості рослин до дії несприятливих факторів середовища і створення сучасної, якісно нової технології селекційного процесу, яка базується на широкому впровадженні обчислювальної техніки та створенні автоматизованих експертних систем.

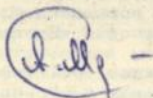
2. Розроблений підхід до поточної ідентифікації стану рослинних біосистем відкриває можливість для створення екобіотехнічних систем життєзабезпечення, які не вимагають участі людини в процесах управління. Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку проведених досліджень є комплексна автоматизація процесів рослинництва шляхом створення автоматизованих рослинних біосистем, які включають в себе рослину як елемент біокібернетичного зворотнього зв'язку.

Основні положення дисертації викладені в наступних роботах:

1. Мартыненко А.И. К вопросу о роли электрического поля в растениях //Механизация и электрификация с.х. -Киев: Урожай, 1983. -N57. -С. 58-60.
2. Мартыненко А.И. Электрический метод определения токсичности гербицидов//Специальные виды электрической энергии в с.х. производстве. - Труды Кубанского СХИ.-1983. -Вып.228 (256).-С.24-31.
3. Масло И.П., Мартыненко А.И. Результаты исследований электрической активности сельскохозяйственных растений при действии гербицида //Механизация и электрификация с.х. - Киев: Урожай, 1984. -N60. -С.53-57.
4. А.с. 1205796 СССР, МКИ А 01 G 7/00. Способ определения жизнеспособности растения /А.И.Мартыненко. -Опубл.23.01.86, Бюл. N 3.
5. Мартыненко А.И., Начинкин В.Е. Использование электрофизиологических показателей для централизованного контроля состояния растений в теплицах хозяйствах //Автоматизация технологич. процессов в животноводстве и растениеводстве - важнейший фактор реализации Продовольственной программы. -К. -1985. -С.41.
6. Мартыненко А.И., Начинкин В.Е., Огурцов В.В. Регулирование температурно-влажностного режима в теплице с использованием электрических характеристик растений //Проблемы электрификации, автоматизации и теплоснабжения с.х. произв-ва. -М. -1985. -С.83.
7. Мартыненко И.И., Мартыненко А.И., Федоров В.М. Использование информации от растения в системе регулирования параметров микроклимата теплицы //Проблемы внедрения кибернетики в с.х. производстве. -М. -1986. -С.183-184.
8. Мартыненко А.И., Федоров В.М. Самоуправление режимом подпитки растений в теплицах // Там же. -С.144.
9. Мартыненко А.И., Начинкин В.Е. Анализ электрических явлений в растениях под действием факторов среды //Труды Кубанского СХИ. -1986. -Вып.249 (277). -С.68-72.
10. А.с. 1303080 СССР, МКИ А 01 G 7/00. Способ диагностики воздействия на растение химического средства /А.И.Мартыненко и др. -Опубл.15.04.87, Бюл. N 14.
11. А.с. 1346064 СССР, МКИ А 01 G 7/00. Устройство для автоматического управления поливом растений / А.И.Мартыненко и др. -Опубл. 23.10.87, Бюл. N 39.
12. Мартыненко А.И., Зырянов В.В. Об одном подходе к математическому моделированию электрической активности биомембран //Математические и вычислительные методы в биологии. Биомолекулярные системы (Материалы II Всесоюзной конференции 8-10 сент.1987г.). -Пушино: АН СССР, 1987. -С.92-93.
13. Мартыненко И.И., Федоров В.М., Мартыненко А.И. Устройство для измерения и регулирования влажности в теплицах //Доклады ВАСХНИЛ. -1987. -N12. -С.37-38.
14. Мартыненко И.И., Мартыненко А.И. Аналитические исследования переходных процессов в растениях под действием внешних факторов // Распараллеливание обработки информации. -Львов.-1987. -3. -С.189.
15. Мартыненко А.И., Грищенко А.К. Технические средства и методы измерений электрических характеристик растений // Там же. -С.190.
16. А.с. 1384270 СССР, МКИ А 01 G 7/00. Способ выращивания растений / А.И.Мартыненко и др. -Опубл.07.08.88, Бюл. N 12.
17. Мартыненко А.И. Аппаратура для исследования электрофизиологических характеристик растений //Электрофизиологические методы в изучении функционального состояния растений. -М. -1988. -С.107-116.
18. Кармадонова А.К., Мартыненко А.И., Кармадонов В.К. Фотосинтетический газообмен и электрические характеристики растений в процессе адаптации к изменению донорно-акцепторных отношений // Тез. докл. III Всесоюзной конф. молодых ученых по физиологии

- растительной клетки. -Петрозаводск. -1988. -С.59.
19. Мартыненко А. И., Мартыненко И. И., Федоров В. М. Принципы построения биокрибернетических систем управления микроклиматом в теплицах // Автоматизация производственных процессов в с. х. -М. -1989. -С.60-62.
  20. Мартыненко И. И., Мартыненко А. И., Федоров В. М. Разработка технических средств для измерения влажности теплично о субстрата // Механизация и электрификация с. х. -Киев: Урожай, 1989. -N70. -С.74-79.
  21. Садовой А. Ф., Мартыненко А. И., Федоров В. М. Метод отбора селекционного материала на устойчивость /Онтогенетика высших растений. Тез. докл. Всесоюзной научной конф. (17-18 окт. 1989г.). -Кишинев: Штинца, 1989. -С.187-18
  22. А. с. 1544277 СССР, МКИ А 01G 7/00. Установка для физиологических исследований растений /А.И.Мартыненко и др. -Опубл. 23.02.90, Бюл. N 7.
  23. А. с. 1563639 СССР, МКИ А 01G 7/00. Способ выращивания тепличных растений /А.И.Мартыненко и др. -Опубл. 15.05.90, Бюл. N 18.
  24. Садовой А. Ф., Мартыненко А. И., Синявский С. В. Надежность работы бесконтактных коммутаторов // Техника в сельском хозяйстве. -1990. -N6. -С.30-32.
  25. Кармадонов В. К., Мартыненко А. И., Грищенко А. К. Количественная оценка концентрации неорганических ионов в апопласте растений // Мембранный транспорт и биоэлектрическая активность растений. -Горький: Изд. ГГУ, 1990. -С.66-71.
  26. Садовой А. Ф., Мартыненко А. И., Федоров В. М. Метод отбора селекционного материала на устойчивость /Онтогенетика высших растений. Тез. докл. Всесоюзной научной конф. (17-18 окт. 1989г.). -Кишинев: Штинца, 1989. -С.187-188.
  27. А. с. 1626980 СССР, МКИ А 01G 7/00. Способ выращивания овощных культур в условиях защищенного грунта /А.И.Мартыненко. -Опубл. 23.02.91, Бюл. N 7.
  28. Мартыненко А. И., Музыченко В. А., Садовой А. Ф. Методические рекомендации по обработке программируемым микрокалькулятором результатов биологического эксперимента // -К.: Изд. АН УССР /препринт/, 1991. -48с.
  29. Я. П. Драган, Л. С. Сикора, А. И. Мартыненко. Системный и информационно-ресурсный подход к анализу и синтезу САУ при проектировании структур управления / Вопросы повышения эффективности систем управления технологическими процессами. -Ереван: Изд. ЕрПИ, 1991. -С.51-70.
  30. Драган Я. П., Сикора Л. С., Мартыненко О. И. Информационно-ресурсная концепция синтеза структур управления // Управляющие системы и машины. -1991. -N5. -С.108-115.
  31. Драган Я. П., Сикора Л. С., Мартыненко О. И. Формирование траекторий stanu в целевом пространстве динамической системы // УС и М. -1991. -N8. -С.106-110.
  32. Сикора Л. С., Мартыненко А. И. Системный подход к проектированию структур управления агро- и экосистемами // Вестник аграрной науки. -1991. -N9. -С.21-25.
  33. А. с. 1720525 СССР, МКИ А 01G 7/00. Устройство для предпосевной обработки в электромагнитном поле /А.И.Мартыненко и др. -Опубл. 23.03.92, Бюл. N 11.
  34. Мартыненко А. И., Садовой А. Ф., Федоров В. М. Использование электрофизиологических характеристик для экспресс-диагностики состояния растений // Автоматизация науч. исследований в области растениеводства. Проблемы фитотроники. (Бюллетень ВИР). -С.-Петербург. -1992. -N215. -С.32-37.

35. Мартыненко А. И., Федоров В. М., Садовой А. Ф. и др. Средства наблюдения и прямого контроля жизнедеятельности растений // -Деп. в УкРИНТЭИ 20.08.92г. -N1301-Ук.92. -56с.
36. Мартыненко А. И., Федоров В. М., Грищенко А. К. Теоретические основы контроля электрофизических свойств многокомпонентных питательных растворов и тепличных субстратов // -Деп. в УкРИНТЭИ 30.08.92г. -N1302-Ук.92. -20с.
37. Dragan Ya. P., Sikora L. S., Martynenko A. I. Stochastic dynamics, models of random processes and fields as a basis of analysis and synthesis of the goal-oriented biotechnical systems. / Proc. of 12th IFAC Congress. -Yerevan, 1992. -P. 64-68.
38. L. S. Sikora, A. I. Martynenko The Conception of Robust Control Systems Design // Proc. of 12th IFAC Congress. -Yerevan, 1992. -P. 67-68.
39. Сергеева Л. Е., Мартыненко А. И. Осморегулирование у клеточных линий табака, устойчивых к солевому стрессу / Физиол. и биох. культ. раст. -1993. -Т. 24, N4. -С. 383-388.
40. Мартыненко И. И., Мартыненко А. И. Энерго- и ресурсосберегающее управление микроклиматом в теплицах с использованием информации от растений /Сб. докл. III съезда АВОК. -М., 1993. -С. 133-135.
41. Мартыненко А. И., Шабала С. Н., Маслоброд С. Н. и др. Методические аспекты бесконтактных измерений биоэлектрических потенциалов / Физиол. и биохим. культ. растений -1993. -25, N5. -С. 495-500.
42. Шабала С. Н., Мартыненко А. И., Маслоброд С. Н. и др. Исследование топографии биоэлектрических потенциалов в статике и динамике / Там же. -С. 500-505.
43. Мартыненко О. И., Садовой А. П., Федоров В. М. та ін. Електрофізіологічні методи тестування селекційного матеріалу на стійкість // Тези доповідей II з'їзду Укр. тов-ва фізіологів рослин. -Київ, 1993. -Т. 1 -С. 144
44. Мартыненко О. И., Садовой А. П., Руденко М. М. Методичні аспекти оцінки морозостійкості рослин // Там же. -Т. 2. -С. 70
45. Мартыненко А. И., Мартыненко И. И. Идентификация растительных биосистем. 1. Какие модели нужны физиологии растений? -Киев, 1993. -Деп. в ГНТБ Украины 14. 10. 93г. -N 1971 -Ук93. -18с.



461189

AB 29.454

**AB 29.454**