

ТАВРІЙСЬКА ДЕРЖАВНА АГРОТЕХНІЧНА АКАДЕМІЯ

САБО Андрій Георгійович

УДК [631.234 : 628.97] : 635.64

**ЕНЕРГООЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ
РОЗСАДИ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ
ПЕРІОДИЧНИХ РЕЖИМІВ ОПРОМІНЕННЯ**

05.09.16 – Застосування електротехнологій у сільськогосподарському
виробництві

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь - 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійській державній агротехнічній академії
Міністерства аграрної політики України

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Діордієв Володимир Трифонович
Таврійська державна агротехнічна академія,
завідувач кафедри автоматизації
сільськогосподарського виробництва

Офіційні опоненти: заслужений діяч науки і техніки України, доктор
технічних наук, академік УААН, професор
Мартиненко Іван Іванович
Національний аграрний університет,
професор кафедри “Автоматизація
сільськогосподарського виробництва”

кандидат технічних наук
Куценко Юрій Миколайович
Таврійська державна агротехнічна академія,
доцент кафедри "Електропостачання сільського
господарства"

Провідна установа: Харківський державний технічний університет
сільського господарства Міністерства
агропромислової політики України, м. Харків

Захист відбудеться: 6 грудня 2002 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні вченої
спеціалізованої ради К 18.819.01 при Таврійській державній агротехнічній
академії за адресою: 72312, Україна, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.
Хмельницького, 18., навч. корпус 1, конференцзал.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Таврійської державної
агротехнічної академії (72 312, Запорізька обл., м. Мелітополь, пр. Б.
Хмельницького, 18).

Автореферат розісланий “4” листопада 2002 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
К. 18.819.01 д.т.н., доц.

В.Т. Надикто

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Овочівництво захищеного ґрунту, де енергетичні витрати складають приблизно 35...55% витрат на виробництво тепличної продукції, є самою енергомісткою галуззю сільського господарства. Разом з тим овоочівництво захищеного ґрунту є незамінним джерелом постачання населення ранніми овочами у міжсезонний період і забезпечує розсадою овочівництво відкритого ґрунту. При подальшому економічному розвитку України площа теплиць буде стрімко зростати, тому постає задача зменшення витрат на їх експлуатацію, тому дуже актуальною є проблема розробки ефективних енергозберігаючих технологій вирощування овочів, зокрема тих, де використовуються енергозберігаючі періодичні режими опромінення при вирощуванні розсади овочевих культур в умовах захищеного ґрунту.

Вирощування розсади овочевих культур в умовах захищеного ґрунту потребує додаткового штучного опромінення, причому спостерігаються значні витрати невідновлюваної енергії. Так, біля половини собівартості розсади припадає на електроенергію. Тому застосування ефективних енергоощадних періодичних режимів опромінення є одним з перспективних напрямків зниження витрат електроенергії в світлокультурі захищеного ґрунту, проте параметри таких режимів повинні бути ретельно обґрунтованими для забезпечення отримання якісної розсади.

Поставлена задача в умовах захищеного ґрунту ефективно вирішується шляхом інтенсифікації процесів фотосинтезу при використанні адаптивного управління за моделлю параметрами електроопромінення з періодичними змінами рівнів опромінення у біотехнічній системі "розсада – середовище" при використанні інформації про електрофізичні властивості рослин.

Тому дослідження залежностей параметрів ефективних енергоощадних періодичних режимів штучного опромінення розсади овочевих культур від зовнішніх (параметрів середовища) та внутрішніх (вікової та генотипічної специфічності рослин) факторів на основі світлозалежних електрофізичних властивостей рослин, впливу цих режимів на розвиток розсади овочевих культур, розробка алгоритмів та технічних засобів для реалізації таких режимів є одним з найперспективніших шляхів зниження витрат електроенергії в світлокультурі закритого ґрунту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася у відповідності з Державною науково-технічною програмою 3.12 "Енерго- та ресурсозберігаючі технології в сільськогосподарському виробництві", тематикою міжвузівських наукових і науково-технічних програм щодо пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки (Наказ Міністерства Освіти України № 37 від 13.02.96, п. 2) та Науково-технічною програмою №1 Таврійської державної агротехнічної академії на 2001-2005 роки "Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для

забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України", підпрограма 1.13.5. "Підвищення ефективності електроопромінення розсади овочевих культур в захищеному ґрунті" (державний реєстраційний номер 0102V000678).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності використання енергоресурсів при вирощуванні розсади овочевих культур в спорудах захищеного ґрунту шляхом впровадження біотехнічної системи "розсада-середовище", що реалізує алгоритми адаптивного управління параметрами періодичного електричного опромінення за моделлю з використанням інформації про світлозалежні біоелектричні реакції рослин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Визначити параметр стану рослин для встановлення за ним параметрів періодичного опромінення розсади овочевих культур в захищеному ґрунті.
2. Дослідити закономірності зміни параметрів індукованих світлом коливань біоелектричних потенціалів (СК БЕП) рослин як біотехнічних об'єктів управління.
3. Дослідити закономірності виникнення та розповсюдження світлозалежних коливань біоелектричних потенціалів на рівні цілісних рослин та в їх системах.
4. Розробити алгоритми та засоби енергозберігаючого регулювання при періодичному електроопроміненні розсади овочевих культур в спорудах захищеного ґрунту та провести їх випробування.

Об'єкт дослідження – процес періодичного опромінення розсади овочевих культур в біотехнічній системі "розсада-середовище".

Предмет дослідження – параметри періодичних режимів опромінення розсади овочевих культур в захищеному ґрунті на основі світлозалежних біоелектричних реакцій рослин.

Методи дослідження. Експериментальне визначення параметрів енергоощадних періодичних режимів опромінення розсади провадилося за максимумами амплітудно-частотних характеристик світлозалежних коливань біоелектричних потенціалів рослин, при визначенні залежностей параметрів яких від зовнішніх та внутрішніх факторів використовувалися методи планування експерименту та обробки статистичних даних. При побудові та дослідженні моделей рослин та моделей взаємодії рослин та їх органів при світлоіндукованих біоелектричних реакціях використовувалися методи теорії коливань, положення теорії автоматичного керування, методи рішення диференціальних рівнянь. Моделювання процесів і розрахункова частина досліджень проводилася на ПЕОМ шляхом розробки та експлуатації моделюючих і розрахункових програм та використання пакетів прикладних програм. Експериментальні дослідження проводилися за допомогою серійних вимірних приладів і з використанням розроблених лабораторних установок та пристроїв керування.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше досліджені залежності параметрів амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) СК БЕП розсади овочевих культур роду пасльонових (томатів, перцю та баклажанів) від параметрів рослин та оточуючого середовища , що дозволило запропонувати нові ефективні щодо енергозбереження та якості продукції параметри режимів періодичного опромінення в біотехнічній системі "розсада - середовище".

Вперше встановлено факт наявності чи відсутності зв'язку між певними резонансами світлозалежних біоелектричних реакцій та механізмами устячкової регуляції у рослин, що дозволило виявити приховані піки АЧХ СК БЕП та використати їх для обґрунтування нових діапазонів періодів при штучному опроміненні розсади.

Дістало подальший розвиток вивчення явища виникнення та розповсюдження СК БЕП на рівні цілісної рослини та в системах рослин, що дозволило вдосконалити технологію вирощування розсади та поліпшити її якісні показники.

Дістало подальший розвиток вивчення впливу періодичних режимів опромінення на якісні показники розсади овочевих культур роду пасльонових, що дозволило рекомендувати зазначені режими до впровадження у виробництво .

Вперше розроблено моделі рослин при виникненні та розповсюдженні індукованих світлом коливань біоелектричних потенціалів.

Запропоновано спосіб опромінення розсади овочевих культур в спорудах захищеного ґрунту, що дозволило помітно зменшити енерговитрати на штучне опромінення розсади у закритому ґрунті.

Вперше розроблено алгоритм та технічні засоби для керування періодичним опроміненням розсади овочевих культур роду пасльонових в біотехнічній системі "розсада-середовище" з адаптивним управлінням опроміненням за моделлю, що дозволило впровадити зазначену систему у виробництво.

Наукова новизна досліджень підтверджена Деклараційним патентом на винахід № 47048А "Спосіб опромінення розсади рослин у теплицях" (у співавторстві з науковим керівником В.Т. Діордієвим).

Практичне значення одержаних результатів. На підставі проведених досліджень обґрунтовані параметри режимів електроопромінення розсади ряду сортів овочевих культур роду пасльонових, розроблені алгоритми та технічні засоби для впровадження біотехнічної системи "розсада-середовище" з адаптивним управлінням параметрами періодичного опромінення в спорудах захищеного ґрунту. Запропоновано спосіб опромінення розсади овочевих культур в умовах захищеного ґрунту за моделлю на основі використання інформації про світлозалежні електрофізичні реакції рослин. Ці алгоритми, технічні засоби і спосіб впроваджені в СФГ "Прогрес-2" Бериславського району

Херсонської області та СОК "Грунт" Каховського району Херсонської області (акти впровадження результатів НДР відповідно від 10.07.01 та 12.07.01) в розсадних відділеннях стаціонарних споруд захищеного ґрунту та підтвердили свою економічну ефективність. Розроблено комп'ютерну програму для визначення параметрів оптимальних періодичних режимів опромінення розсади овочевих культур в залежності від їх виду, сорту, віку, температури оточуючого середовища та змінної складової рівня опромінення та для обчислення параметрів запропонованих моделей. Запропоновані моделі можуть бути використані також для діагностики фізіологічного стану рослинних організмів та умов навколишнього середовища і для створення систем автоматичного контролю і управління.

Особистий внесок здобувача. Дисертантом особисто:

1. Досліджені залежності параметрів амплітудно-частотних характеристик СК БЕП від параметрів рослин та оточуючого середовища у біотехнічній системі для розсади томатів, перцю та баклажанів.

2. Знайдено нові ефективні щодо енергозбереження та якості продукції періодичні режими опромінення розсади овочевих культур; встановлено факт наявності чи відсутності зв'язку між певними резонансами світлозалежних біоелектричних реакцій та механізмами устячкової регуляції у рослин.

3. Розроблено моделі рослин при виникненні та розповсюдженні індукованих світлом коливань біоелектричних потенціалів.

4. Досліджено явище розповсюдження СК БЕП між органами рослин та між рослинами у мікрофотоценозах овочевих культур роду пасльонових, встановлена стимулююча дія періодичних режимів опромінення на рівні фотоценозів.

5. Запропоновано спосіб опромінення розсади овочевих культур в спорудах захищеного ґрунту.

6. Розроблено алгоритм та технічні засоби для керування періодичним опроміненням розсади овочевих культур в біотехнічній системі "розсада-середовище" для умов захищеного ґрунту.

7. Розроблено комп'ютерну програму для визначення параметрів енергозберігаючих періодичних режимів опромінення та параметрів моделей.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та матеріали дисертації доповідалися та обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів Таврійської державної агротехнічної академії 1996, 1998 та 2001 років, на Республіканському науково-технічному семінарі з вдосконалення показників теплових двигунів та ресурсозбереження (Мелітополь, 1995), на Міжнародній науково-технічній конференції "Землеробська механіка на рубежі сторіч" (м. Мелітополь, 2001), на Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" (м. Харків, 2001).

Публікації. Основні положення дисертації викладено в 10 роботах (9 статей у фахових виданнях та один патент на винахід).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків, в яких містяться розрахункові таблиці, програми, схеми а також акти впровадження. Повний обсяг дисертації складає 193 сторінок, із них 136 сторінки основного тексту, в тому числі 52 ілюстрації на 28 сторінках і 20 таблиць на 16 сторінках, а також 4 додатки на 14 сторінках. Список використаних джерел містить 222 найменувань (в тому числі 40 на іноземних мовах) – на 19 сторінках.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подана загальна характеристика дисертації, сформульовані актуальність, мета, об'єкт, предмет та методи дослідження, поставлені задачі дослідження.

У першому розділі "Стан проблеми та визначення задач досліджень" розглянуто можливі шляхи зменшення витрат електричної енергії, що споживається при штучному опроміненні розсади овочевих культур у захищеному ґрунті. Встановлено, що одним з найбільш ефективних напрямків зниження енерговитрат є застосування періодичних режимів опромінення.

Питаннями застосування періодичних режимів опромінення в умовах захищеного ґрунту впливу параметрів режимів на фізіологічні параметри та стан рослин займалися такі вчені як Леман В.М., Мошков Б.С., Маслоброд С.М., Китлаєв Б.М., Прищеп Л.Г., Свентицький І.І., Новак В.О., Іванкіна Н.Г., Скрипник М.М., Герасимчук Ю.В., Шевелуха В.С., Рибін І.А., Мартиненко О.І., Шабала С.М., Рубін Б.О., Большина Н.П., Никифорова Л.Є., Молчанов А.Г., Уоллер Дж., Нішізакі Ю., Ньюман Я., Бюннинг Е., Пікард Б. та інші, чії розробки створили основу для пошуку та впровадження ефективних періодичних режимів опромінення в умовах захищеного ґрунту та для визначення їх параметрів.

Для обґрунтування параметрів періодичних режимів опромінення, що забезпечують заощадження електричної енергії при умові отримання якісної розсади овочевих культур, необхідно вибрати параметр стану рослин, який при мінімальному впливі на об'єкт забезпечує максимальну інформацію про стан рослинного організму. Ці вимоги задовольняють світлозалежні біоелектричні реакції, зв'язок яких з найважливішими параметрами фізіологічного стану рослин та параметрами оточуючого середовища є доведеним. Найбільш інформативним параметром стану біотехнічної системи "розсада - середовище" є світлозалежні коливання біопотенціалів рослин. АЧХ світлозалежних біоелектричних реакцій мають більш високу відтворюваність у порівнянні з окремими реакціями і дозволяють мінімізувати дисперсію. Звідси постає задача вивчення залежностей параметрів АЧХ СК БЕП рослин від умов

навколишнього середовища та стану рослин а також особливостей виникнення та розповсюдження СК БЕП як у межах рослини, так і у системах рослин, що дозволить обґрунтувати параметри періодичних режимів опромінення за максимумами амплітуд СК БЕП, тобто, за піками АЧХ.

У другому розділі "Теоретичні дослідження процесу використання рослинами світлової енергії при періодичному опроміненні" розглянуто теоретичні передумови для пошуку шляхів для більш ефективного використання світлової енергії фотосинтетичним апаратом рослин. Біоелектричні реакції у рослин пов'язані та обумовлені фотосинтетичними реакціями рослинних тканин. Розглянемо модель фотосинтетичної активності листа рослини, для чого три стадії фотосинтезу представимо як три узагальнені реакції: реакцію карбоксилювання, реакцію отримання проміжного продукту в циклі Кальвіна та реакцію регенерації акцептора (рис. 1).

Рис. 1. Схема фотосинтезу листа рослини.

Введемо позначення: C – концентрація CO_2 в клітині, Q – інтенсивність поглиненої листом ФАР, P – синтезований продукт, $[A]$, $[X]$, $[H]$, $[B]$, $[P]$ та $[ASO_2]$ – концентрації відповідно акцептора CO_2 , ферменту регенерації акцептора в циклі Кальвіна, відновлювача, проміжного продукту в циклі Кальвіна, продукту синтезу та карбоксилюваного акцептора відповідно, віднесені до одиниці площини листа, k_i – швидкості реакцій. Позначимо концентрації

$$[A]=A; [H]=H; [B]=B; [P]=P; [ASO_2]=M; [X]=X, \quad =\Phi.$$

В останньому з рівнянь швидкість утворення продукту і є інтенсивність фотосинтезу на одиницю площі листа. Приймаємо, що реакції йдуть у відповідності з законом кінетики першого порядку, тоді концентрації складових реакції можна знайти у відповідності з законом діючих мас:

(1)

Якщо зробити необхідні підстановки та позначити $k_5 = k_2 k_4$,

$\tau = -0,5(k_1 C + k_5 Q + k_3 X)$; $T_1 = \tau + \lambda/2$; $T_2 = \tau - \lambda/2$,
то загальне рішення третього рівняння системи (1) матиме такий вигляд:
при $\lambda^2 > 0$

(2)

при $\lambda^2 < 0$

(3)

Аналіз рівнянь (2) та (3) дозволяє зробити висновки про те, що як показники ефективності використання променистої енергії для фотосинтезу у рослин, так і параметри АЧХ СК БЕП рослин залежать від параметрів оточуючого середовища, віку рослин, їх видової та сортової специфічності, причому ці залежності носять доволі складний характер і їх доцільно визначати з використанням методів активного експерименту.

Для можливого використання у системах автоматичного керування параметрами систем підтримання життєдіяльності рослин автором було запропоновано осциляторну модель вищої рослини при наявності СК БЕП (рис. 2 а,б).

а)

б)

в)

Рис. 2. Електрична модель рослини при світлоіндукованих коливаннях БЕП для: а) першого піку; б) для другого піку АЧХ; в) при розповсюдженні СК БЕП між органами рослини та між рослинами у ценозі.

Для першого піку АЧХ (рис.2а) при введенні безвимірної змінної $x=q/q_0$, отримаємо рівняння

$$\text{EMBED Equation.3} \quad \text{EMBED Equation.3}$$

де ω_0 – власна резонансна частота контуру та рослини при СК БЕП; (4)

$$=1/LC_0, \gamma=\gamma_0 q_0^2, 2\delta=R/L, P=U/Lq_0.$$

Якщо використати метод гармонійного наближення, шукаючи рішення у вигляді $x=a \cos(pt)+ b \sin(pt)$, то отримаємо

(5)

Підставляючи (4) в (5) і порівнюючи коефіцієнти при $\cos(pt)$ та $\sin(pt)$, отримаємо рішення рівняння (4), справедливе з точністю до членів, що містять компоненти з частотами $2p, 3p, \dots$ і т.д. в розкладі функції в ряд Фур'є:

$$\text{або ж} \quad \frac{2A^2}{(\omega^2 - p^2)^2 A^2 + 4\delta^2 p^2 A^2 - P^2} \quad (6)$$

де $\omega^2 = \omega_0^2 (1 + 0.75\gamma A^2)$ – квадрат частоти вільних коливань для цієї ж системи для консервативного випадку (тобто, при $\delta=0$), що характеризує неізохронність системи. З рівняння (6) легко знайти

$$p^2 \omega^2 - 2\delta^2 \quad .3$$

Другому піку (і відповідній йому системі) можна поставити у відповідність як електричну модель пасивний RLC-контур з нелінійним опором (рис. 2б),

якому відповідає диференціальне рівняння:

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

(7)

де $\omega_0 = 1/LC$, $2\delta_0 = R_0/L$.

Позначення у рівнянні (7) аналогічні відповідним для рівняння (4). Рішення для вимушених коливань для даної системи провадимо аналогічно методом гармонічного наближення і отримаємо

(8)

З рівняння (8) бачимо, що значення резонансної частоти залишається незмінним при будь-яких значеннях зовнішньої вимушуючої сили.

Для взаємодіючих рослин при наявності СК БЕП запропонована модель у вигляді зв'язаних контурів (рис. 2в). В межах запропонованих моделей розглянемо процес розповсюдження СК БЕП в системі рослин (яку можна розглядати як ланцюг з однакових лінійних зв'язаних осциляторів-рослин) у мікрофотоценозі. В цьому випадку вимушені коливання осциляторів описуються неоднорідним хвильовим рівнянням Клейна-Гордона :

(9)

де ω_0 – власна частота коливань окремого осцилятора;
 x – просторова координата;
 α – коефіцієнт зв'язку.

Рішення рівняння (9) у випадку $\omega < \omega_0$ буде

$$[C_1 \exp(-x/\lambda) + C_2 \exp(x/\lambda)]. \quad (10)$$

де C_1 та C_2 – коефіцієнти, що визначаються з граничних умов,

$\lambda =$ – характеристична довжина.

Аналіз рівняння (10) свідчить, що всі осцилятори будуть коливатися з однаковою частотою ω та постійним зсувом за фазою ϕ , причому в системі осциляторів буде розповсюджуватися експоненціальна хвиля збудження.

При $\omega = \omega_0$ рішення рівняння (10) буде мати вигляд

$$[C_1 + C_2 x].$$

В цьому випадку будемо мати лінійну хвилю збудження.

Нарешті, у випадку $\omega > \omega_0$

$$[C \sin(\beta x + \psi)],$$

де $\beta =$ — характеристична частота.

Порівняння рішень показує, що найбільш ефективно хвиля збудження розповсюджується при $\omega \approx \omega_0$. Наявність загальної для ценозу біоелектричної реакції у вигляді доволі повільної хвилі збудження обумовлена з біологічної точки зору необхідністю мати універсальну сигнальну систему, що забезпечує цілісність ценозу. З іншого боку, наявність загального зовнішнього чинника для взаємодіючих рослин веде до вирівнювання їх параметрів та розвитку (за принципом біологічної доцільності) органів для передачі збудження, якими є перш за все коренева система рослин. Тому при вирощуванні розсади овочевих культур при використанні періодичних режимів опромінення при застосуванні частот, близьких до власних частот окремих рослин, що виступають у ролі взаємодіючих осциляторів, можна очікувати поліпшення таких показників, як вирівненість розсади та розвиненість кореневої системи рослин.

У третьому розділі "Експериментальні дослідження амплітудно-частотних характеристик СК БЕП рослин та особливостей розповсюдження СК БЕП у системах рослин" наведено результати досліджень АЧХ СК БЕП розсади овочевих культур при різних параметрах середовища та етапах розвитку рослин.

Як основні об'єкти досліджень були вибрані по два сорти для трьох культур з роду пасльонових, а саме томатів (сорті Український тепличний 285 та Ласточка), перцю (сорті Подарок Молдови та Данюб) та баклажанів (сорті Алмаз та Донецький урожайний). Рослини для лабораторних досліджень вирощувалися з насіння в суміші землі та піску в співвідношенні 3:1 в контейнерах об'ємом 300 мл по одній рослині або по 6 рослин в контейнерах об'ємом 3 л при рівні опроміненості 50 Вт/м² ФАР з співвідношенням світло/темрява 16/8 годин в кліматичній камері. Індукція СК БЕП між рослинами вивчалася на баклажанах, томатах, перці та квасолі.

Дослідження проводилися в кліматичній камері KTLK-1250, обладнаною опромінювачами ДРЛФ-400, а також (при дослідженні ряду світлових режимів з періодами зміни рівнів опроміненості менше 15 хвилин) в кліматичній камері, що обладнана лампами розжарювання з проміжним водяним фільтром товщиною не менше 15 см для поглинання надлишку інфрачервоної частини радіації. В кліматичних камерах підтримувалася температура та вологість повітря в межах, що близькі до агротехнічних вимог. Вихід за межі цих діапазонів здійснювався лише в окремих дослідах. Вологість ґрунтової суміші підтримувався, згідно з агротехнічними вимогами, у межах 60...70% граничної польової вологості, лише при проведенні окремих дослідів ці межі порушувалися, про що згадується при викладі результатів таких дослідів. Рівень опромінення рослин підтримувався в різних дослідах в межах 0...100 Вт/м².

Біоелектричні потенціали рослин відводилися переважно (крім деяких дослідів з розповсюдження СК БЕП) з перших справжніх листів рослин, що мають більший зв'язок з кореневою системою та з'являються раніше. Відведення потенціалів провадилося з верхньої поверхні листів на відстані 1,5...2,5 см від черешків на відстані 0,5...1,3 см від краю листа в залежності від морфологічної побудови листа. Вимірювання поверхневих біопотенціалів рослинних тканин проводилися за допомогою хлорсрібних контактних датчиків ЕВЛ-1МЗ з спеціальними перехідними насадками, що виготовлені разом з електродами. Контакт з рослиною здійснювали з допомогою бавовняного гніту, що був закріплений мініатюрною зачіпкою з тонкого оргскла. Площа контакту електрода з рослиною була у межах 1...2 мм², в точці контакту поверхню листа змочували, що підвищувало стабільність вимірів. У випадках переустановлення електродів та при випадковій втраті контакту враховувалося, що перехідний процес триває 0,5...1,0 години, тому отримані у першу годину після переустановлення електродів результати не враховувалися. Другий електрод, який використовувався як референтний, також типу ЕВЛ-1МЗ, занурювався в ґрунт та був захищеним від світла. Різницю потенціалів між електродами фіксували на діаграмній стрічці з допомогою мілівольтметра-самопису типу ПСР-1 з максимальним числом каналів реєстрації 6 (ширина діаграмної стрічки 160 мм, основна похибка запису $\pm 1\%$), який для погодження підключався через іонометр И-102 з високим входним опором (1011 Ом). Оскільки вимірювання провадилося звичайно одночасно у кількох точках, то іонометр було підключено у розрив між комутатором самопису та його підсилювачем.

При перших дослідах для побудови АЧХ СК БЕП використовувалися періоди опромінення у діапазоні від 1 до 200 хвилин (що відповідає круговій частоті 0,0005...0,1 рад/с), який потім був обмежений 4,5...75 хвилинами, де знаходилися досліджувані максимуми АЧХ СК БЕП. Побудова АЧХ СК БЕП здійснювали так: рослини протягом визначеного проміжку часу піддавалися ритмічному світловому впливу з частотою ω при фіксованій освітленості Е. Після закінчення перехідного процесу і встановлення стабільних коливань визначали їхню амплітуду, після чого, не змінюючи освітленості, змінювали частоту світлового впливу і т.д., тестуючи в такий спосіб рослини в усьому досліджуваному діапазоні частот. Встановлення сталого значення амплітуд СК БЕП відбувається після 2...3 повних коливань.

Оскільки СК БЕП є істотно нелінійними, то для визначення їх амплітуди використовувався наближений метод, що базується на заміні дійсних несинусоїдальних кривих еквівалентними їм синусоїдами з амплітудами, що визначалися за формулою:

де T - період коливань, с;
 $f(t)$ - різниця між текучим і початковим значеннями БЕП, мВ;
 t - час, с.

Виявлено, що параметрам розсади овочевих культур, як біотехнічного об'єкту управління, властива суттєва нестаціонарність, яка також проявляється і для параметрів АЧХ СК БЕП (рис. 3), які було заплановано визначити для застосування при адаптивному управлінні параметрами періодичних режимів опромінення у системі "розсада – середовище" за моделлю. Зокрема, виявлено, що вигляд та параметри АЧХ СК БЕП залежать від генотипічної (видової та сортової) специфічності рослин, їх віку та параметрів оточуючого середовища, причому ці залежності носять складний характер і їх доцільно визначати з використанням методів активного експерименту.

Рис. 3. Залежність амплітуд СК БЕП рослин томатів сорту Український Тепличний 285 (35 діб) від частоти ритмозадаючого фактора:
 1,2 – відповідно при змінній складовій опромінення 30 та 70 Вт/м² ФАР.

Виявлено, що найбільшого ефекту слід очікувати при використанні режимів періодичного опромінення розсади рослин, що відповідають першим двом пікам АЧХ СК БЕП. Експериментально доведено, що самий низькочастотний пік АЧХ СК БЕП, на відміну від інших піків, пов'язаний з механізмами регуляції устячкових апертур рослин.

Визначено (з аналізу літературних джерел, експериментальних даних автора та за допомогою методу експертних оцінок) вхідні фактори для проведення активного експерименту з визначення залежностей параметрів піків

АЧХ СК БЕП, за якими встановлюються значення періодів опромінення. Значення параметрів періодичних режимів опромінення в межах окремого сорту та виду залежать перш за все від віку рослин, змінної складової рівня опромінення та температури оточуючого середовища. Для визначення значень резонансних частот та відповідних амплітуд СК БЕП є доцільним проведення повнофакторного експерименту з трьома вхідними факторами, що контролюються. Оскільки за попередніми даними було відомо, що періоди для обох піків мають явно нелінійну залежність як мінімум від одного з вхідних факторів – віку рослини, то за рівняння регресії обрано нелінійну залежність, тобто

$$Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3+B_{12}X_1X_2+B_{13}X_1X_3+B_{23}X_2X_3+B_{123}X_1X_2X_3+B_{11}X_1^2+B_{22}X_2^2+B_{33}X_3^2,$$

де Y – вихідна функція, тобто періоди і амплітуди першого (T_1 та A_1) та другого піків (T_2 та A_2).

Виходячи з того, що положення екстремуму та центральної точки плану були попередньо невідомими, було обрано ротатбельний центральний композиційний план (РЦКП) другого порядку. Для РЦКП другого порядку характерною є однакова точність прогнозування функції цілі з допомогою рівняння регресії за будь-якою координатою і взагалі у будь-якому напрямку в області факторного простору на рівній відстані від центру експерименту. Дані про рівні та інтервали варіювання для кожного з факторів наведено у табл.1.

Таблиця 1 –

Інтервали варіювання та рівні факторів

Фактор	Нульовий рівень	Інтервал варіювання	-1	+1	$-\alpha = -1.682$	$+\alpha = +1.682$
X_1 – час від появи першого справжнього листа, діб	30	13	17	43	8	52
X_2 – рівень змінного опромінення, Вт/м ² ФАР	40	18	22	58	10	70
X_3 – температура повітря, °C	22.5	4.5	18	27	15	30

За результатами обробки проведених експериментальних досліджень за РЦКП отримані рівняння регресії для періодів та амплітуд, що відповідають резонансним пікам АЧХ СК БЕП для згаданих сортів томатів, перцю та баклажанів. Оскільки при проведенні дослідів одночасно з резонансними періодами визначалися і відповідні резонансні амплітуди, то рівняння регресії були визначені і для відповідних амплітуд. Наведені нижче рівняння регресії для нормованих значень містять лише значимі коефіцієнти.

Для томатів сорту Український тепличний 285 рівняння регресії

$T1=28,654+3,024X1-3,154X2-2,041X3+2,125X2X3+12,123X12;$
 $A11+1,965X2+0,372X3+0,475X1X2-0,406X12+0,407X22;$
 $T2=5,642-0,514X1+1,207X12;$
 $A2=2,660+0,758X1+0,789X2+0,279X3+0,250X1X2-0,174X12.$

Для томатів сорту Ласточка рівняння регресії

$T1=30,335+2,705X1-2,649X2+2,250X2X3+11,783X12;$
 $A11+1,881X2+0,450X3-0,385X12+0,464X22;$
 $T2=6,726-0,552X1+1,253X12;$
 $A2=2,769+0,548X1+0,584X2+0,292X3+0,250X2X3-0,231X12.$

Для перцю сорту Подарок Молдови рівняння регресії

$T1=33,476-2,402X1-3,011X2-1,972X3+11,699X12;$
 $A11+2,189X2+0,668X3+0,475X1X3-0,410X12+0,368X22;$
 $T2=7,176-0,858X1+2,805X12;$
 $A2=2,681+0,603X1+0,794X2+0,249X3-0,225X1X2-0,180X22.$

Для перцю сорту Дануб рівняння регресії

$T1=37,811+3,853X1-2,695X2-1,928X3+9,130X12;$
 $A11+1,682X2-0,650X1X2+0,750X1X3-0,880X12;$
 $T2=7,229-0,800X1+2,858X12;$
 $A2=3,463+0,637X1+0,637X2+0,274X3-0,265X12-0,265X22.$

Для баклажанів сорту Алмаз рівняння регресії

$T1=29,414+2,309X1-2,276X2-1,719X3+13,216X12;$
 $A11+2,279X2+0,790X3-0,761X12;$
 $T2=7,414+0,524X1+1,845X12;$
 $A2=4,955+0,813X1+0,790X2+0,256X3-0,706X12-0,671X22-0,318X32.$

Для баклажанів сорту Донецький урожайний рівняння регресії

$T1=30,931+2,948X1-2,130X2-1,581X3+14,329X12;$
 $A11+1,648X2+0,781X3-0,932X12;$
 $T2=8,665+0,586X1+1,479X12;$
 $A2=4,151+0,725X1+0,956X2+0,330X3-0,466X12-0,289X22-0,289X32.$

Отримані рівняння регресії підтвердили адекватність запропонованих раніше моделей та диференційних рівнянь. Визначаючи за рівняннями регресії резонансний період зміни рівнів опромінення виходячи зі значень вхідних факторів і встановлюючи ці значення за допомогою часозадаючих приладів керування опроміненням можна досягнути максимального стимулюючого та енергозберігаючого ефекту. Автором розроблено програму розрахунку значень оптимальних параметрів на алгоритмічній мові TurboPascal.

Експериментально встановлено факт розповсюдження світлоіндукованих коливання біопотенціалів як між органами рослини, так і між сусідніми рослинами у мікрофотоценозі. Отримано експериментальні дані, що свідчать про наявність динамічної взаємодії між органами та рослинами, оскільки амплітуди коливань, що розповсюджуються, періодично змінюється, а величина

періоду визначається особливостями рослин та цілим рядом зовнішніх факторів. Доведена сигнальна роль коливань, що розповсюджуються, у координації взаємодії частин та окремих органів в системі цілісної рослини та між окремими рослинами в їх системах, що відкриває нові можливості для регулювання процесів розвитку рослин та поліпшення ефективності використання рослинами світлової енергії.

Доведено, що при застосуванні періодичних режимів опромінення при вирощуванні рослин в умовах забезпечення їх взаємодії в рамках мікрофотоценозу морфологічні характеристики рослин виявилися більш рівними, а розвиненість кореневої системи помітно кращою, що підтверджує обґрунтованість зроблених раніше з теоретичних міркувань припущень. Помітним виявився факт прискорення розвитку рослин, що свідчить про позитивний вплив застосування періодичних режимів опромінення, коли має місце стимуляція як рослини в цілому, так і рослин у фітоценозі.

Також у розділі розглянуто основні напрямки практичного впровадження ефективних періодичних режимів опромінення.

У четвертому розділі "Результати лабораторних та виробничих випробувань біотехнічної системи "розсада-середовище" та визначення економічної ефективності її впровадження" наведено опис розробленого автором алгоритму періодичного опромінення розсади овочевих культур (рис. 4). та технічних засобів для його реалізації а також результати лабораторних та виробничих випробувань розробленої системи управління параметрами періодичних режимів опромінення у біотехнічній системі "розсада-середовище".

При реалізації алгоритму передбачена можливість при вирощуванні розсади використовувати ефект додаткової стимуляції розвитку рослин при їх взаємодії в межах мікрофотоценозу. Для реалізації алгоритму автором розроблено прилади на основі мікропроцесорних пристроїв "Ритм-1" та "Хвиля-1" для автоматичного встановлення параметрів режимів та управління опроміненням у біотехнічній системі "розсада-середовище". Прилад "Ритм-1" призначено для автоматичного визначення та встановлення величини періоду зміни рівнів опромінення в залежності від параметрів середовища, що вимірюються, та віку рослин.

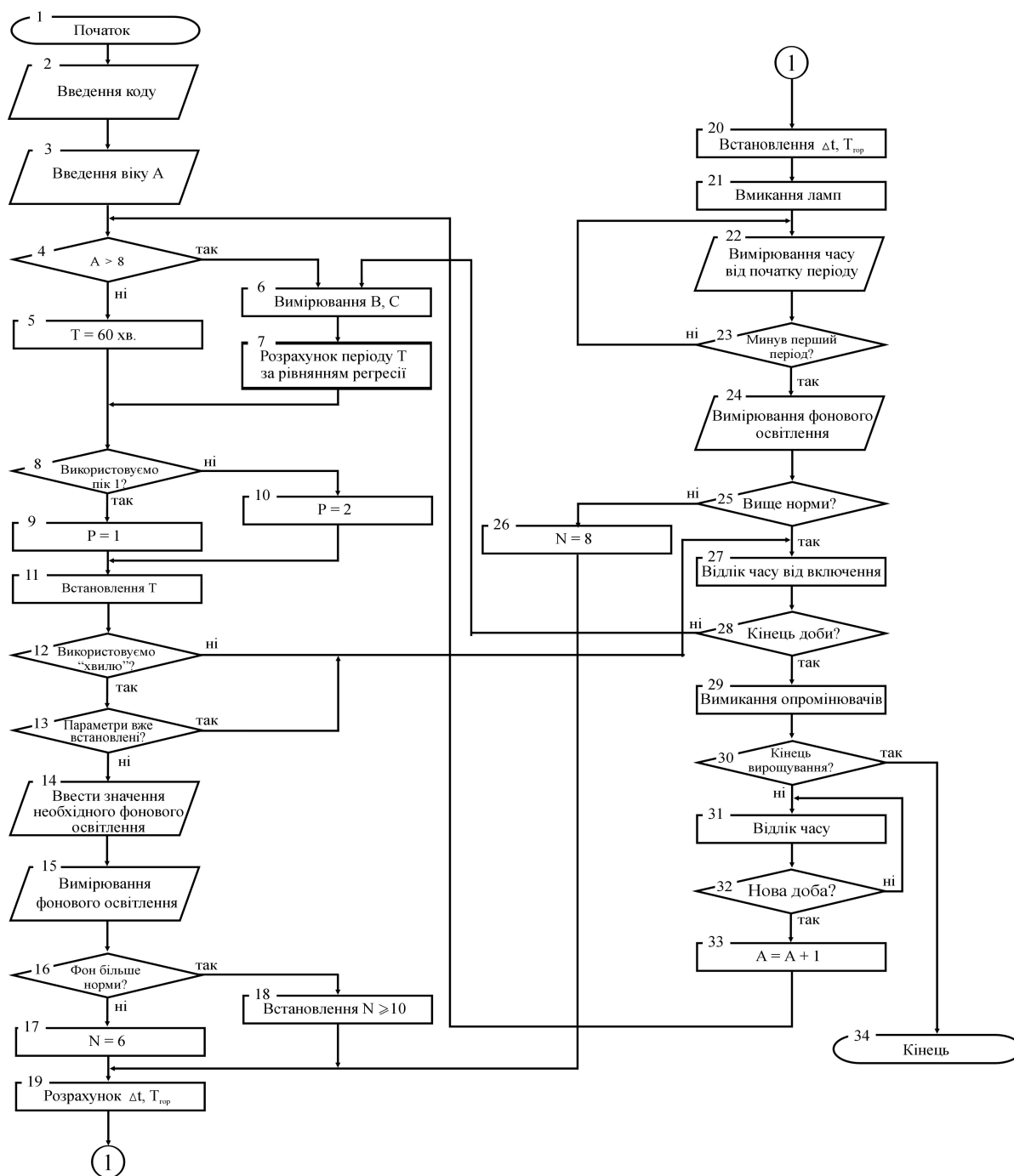


Рис. 4. Блок-схема алгоритму опромінення розсади овочевих культур.

Прилад "Хвиля-1", що працює разом з приладом "Ритм-1" та отримує від нього сигнал про величину періоду та значення фонового рівня опроміненості, забезпечує необхідну комутацію опромінювачів для створення необхідного нижнього рівня опроміненості та додаткового стимулюючого ефекту при наявності взаємодії рослин у мікрофотоценозі теплиці (при застосуванні без горщечкової технології вирощування розсади) при комутації опромінювачів за схемою "хвиля, що біжить". Алгоритмом передбачено як роботу з приладом "

Хвиля-1", так і без нього в залежності від доцільності його застосування, що визначається технологією вирощування розсади та розмірами теплиці. При проведенні лабораторних досліджень розглядалися можливості та особливості реалізації згаданого алгоритму для періодів, що відповідають двом першим низькочастотним пікам АЧХ СК БЕП.

Проведені дослідження довели, що саме застосування управління опроміненням за отриманими моделями у вигляді рівнянь регресії забезпечує найшвидше отримання готової розсади та максимальну економію енергоресурсів у порівнянні з періодичними режимами зі сталими періодами, а тим більше у порівнянні з постійним опроміненням. Виявлено, що у всіх випадках при вирощуванні розсади овочевих культур розсада досягає етапу готовності (за який взято строк появи 9 справжнього листа для томату та перцю та 8 для баклажанів) на 4...8 діб раніше за ту, що вирощувалася при постійному рівні опромінення, при скороченні споживання енергії на 33...38%. При цьому розсада має кращі показники якості та більшу вирівненість за морфологічними параметрами.

При випробуванні згаданого алгоритму опромінення в виробничих умовах були застосовані періоди опромінення, що відповідають першому піку АЧХ. Було підтверджено, що застосування періодичного опромінення сприяє прискоренню розвитку розсади на 5...7 діб та скороченню витрат електричної енергії на 34...37% та отриманню розсади більш високої якості за показниками її вирівненості та розвитку кореневої системи, що призвело до отримання більшої врожайності для томатів на 9...11% та для перцю на 9...13%.

У роботі наводяться рекомендації щодо застосування розроблених технічних засобів, способу та алгоритму опромінення у системах "розсада-середовище" з автоматичними системами підтримання параметрів мікроклімату. Техніко-економічні розрахунки засвідчили високу економічну ефективність застосування періодичних режимів опромінення (строк окупності ка піталовкладень склала 0,636 та 0,763 року при вирощуванні розсади томатів та перцю відповідно) і показали, що капіталовкладення є економічно виправданими і тому доцільними. Таким чином, можна зробити висновок, що за стосування періодичних режимів опромінення розсади овочевих культур за запропонованим алгоритмом у спорудах захищеного ґрунту дозволить досягнути значної економії електроенергії та досягти прискорення розвитку розсади, поліпшення її якості та показників врожайності.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової задачі обґрунтування параметрів періодичних режимів опромінення розсади овочевих культур у біотехнічній системі "розсада-середовище", які забезпечують зменшення питомих витрат енергії при забезпеченні отримання якісної розсади.

За результатами досліджень зроблено такі основні висновки:

1. Одним з найбільш ефективних напрямків зниження енерговитрат є застосування періодичних режимів опромінення. Для ефективного зниження енерговитрат при нормальному розвитку розсади параметри таких режимів повинні бути обґрунтованими та змінюватися у залежності від стану рослин та середовища. Як параметр стану рослин обрано світлозалежні біоелектричні реакції, зв'язок яких з найважливішими параметрами фізіологічного стану рослин та параметрами оточуючого середовища є доведеним.

2. Амплітудно-частотні характеристики світлозалежних біоелектричних реакцій мають більш високу відтворюваність у порівнянні з окремими реакціями. Встановлення залежностей параметрів АЧХ СК БЕП рослин від умов навколишнього середовища та стану рослин дозволяє обґрунтувати параметри періодичних режимів опромінення за максимумами амплітуд СК БЕП, тобто, за піками АЧХ. Через параметричну нестаціонарність біотехнічного об'єкта управління, яким є розсада овочевих культур у системі "розсада-середовище", та для запобігання негативним наслідкам об'єкт-приладної взаємодії доцільним є адаптивне управління опроміненням у цій системі за моделлю.

3. З теоретичного аналізу основних реакцій в рослинних тканинах, що фотосинтезують, випливає, що існують певні діапазони періодів опромінення з найбільш ефективним використанням рослинами світлової енергії. Конкретні тривалості періодів для ефективних щодо енергоспоживання періодичних режимів опромінення залежать як від параметрів середовища, так і від параметрів рослин, причому ці залежності носять складний характер і їх треба визначати з використанням методів активного експерименту.

4. Запропоновано моделі рослин при виникненні СК БЕП як простих послідовних електричних контурів та наведено рішення диференціальних рівнянь, що їх описують. З розгляду моделі для процесу розповсюдження світлоіндукованих коливань в системі рослин у мікрофотоценозі як ланцюга з однакових лінійних зв'язаних осциляторів (як окремий осцилятор береться рослина) зроблено висновок, що при вирощуванні розсади овочевих культур при використанні періодичних режимів опромінення слід очікувати поліпшення ефективності використання рослинами світлової енергії без погіршення якісних показників розсади та навіть при кращій розвиненості кореневої системи рослин.

5. При експериментальному дослідженні АЧХ СК БЕП розсади овочевих культур роду пасльонових у діапазоні частот $0,0005 \dots 0,1$ рад/с було виявлено три резонансних піки та встановлено зв'язок першого з них з механізмами устячкової регуляції рослин. Для практичного використання найбільш придатні періодичні режими опромінення, параметри яких відповідають першим двом низькочастотним пікам АЧХ СК БЕП, що лежать у діапазонах частот $0,0014 \dots 0,0043$ рад/с та $0,0061 \dots 0,023$ рад/с відповідно. Експериментальні дослідження, що

провадилися для ряду сортів зазначених культур, дозволили встановити залежності періодів та амплітуд СК БЕП для цих піків від стадії розвитку рослин, рівня змінної складової опромінення та температури повітря у вигляді рівнянь регресії.

6. При експериментальному дослідженні закономірностей виникнення та розповсюдження СК БЕП між органами однієї рослини та між сусідніми рослинами в мікрофотоценозі встановлено, що при використанні періодичних режимів опромінення має місце як стимуляція рослини в цілому, так і рослин у фітоценозі.

7. Отримання залежностей резонансних періодів від зазначених параметрів дозволило обґрунтувати спосіб періодичного опромінення розсади овочевих культур в умовах захищеного ґрунту та запропонувати мікропроцесорні пристрої для його реалізації. Розроблено програму для обчислення на ПЕОМ параметрів періодичних режимів опромінення для кількох видів та сортів рослин а також для обчислення параметрів моделей рослин.

8. Лабораторні випробування показали, що при застосуванні періодичних режимів опромінення з параметрами, що відповідають як першому, так і другому пікам АЧХ СК БЕП рослин, термін вирощування розсади овочевих культур скорочується на 4...8 діб при економії електричної енергії на 33...38%. При цьому покращується якість розсади, особливо при застосуванні безгорщечкових методів вирощування, коли спостерігається стимуляція розвитку кореневої системи розсади.

9. Виробничі випробування періодичного опромінення розсади томатів, перцю та баклажанів, що провадилися в СФГ "Прогрес-2" Бериславського району Херсонської області та СОК "Ґрунт" Каховського району Херсонської області з параметрами, що відповідають першому піку АЧХ СК БЕП, показали, що строк отримання розсади скорочується на 5...7 діб при зменшенні витрат електричної енергії на опромінення на 34...37%, а якість розсади покращилася. Випробування показали, що найбільш ефективною є реалізація алгоритму опромінення з використанням ефекту взаємодії рослин у мікрофотоценозі, тобто при застосуванні безгорщечкових технологій вирощування розсади. Загальна врожайність, отримана від рослин, вирощених з розсади, що вирощувалася при періодичному опроміненні, була більшою на 9...13% у порівнянні з контрольною групою.

10. Техніко-економічні розрахунки показали, що річний економічний ефект від застосування періодичних режимів з перерахунку на 0,1 га розсадного відділення теплиці при вирощуванні розсади томатів складе біля 223265 грн. при терміні окупності капіталовкладень біля 0,636 року, а при вирощуванні розсади перцю та баклажанів річний економічний ефект складе біля 237762 грн. при терміні окупності капіталовкладень біля 0,763 року. Після проведення досліджень за запропонованою методикою для інших сортів та культур з

модернізацією пристроїв управління можливе широке впровадження періодичних режимів штучного опромінення розсади овочевих культур.

СПИСОК ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Никифорова Л.Е., Сабо А.Г., Шабала С.Н. Энергосберегающий эффект при ритмических изменениях освещения при выращивании растений в условиях защищенного грунта // Материалы Республиканского научно-техн. семинара по улучшению показателей тепловых двигателей и ресурсосбережению. - Мелитополь, ТГАТА.- 1995.-С. 22. (Особистий внесок здобувача – 60%. Визначено шляхи для обґрунтування параметрів періодичних режимів опромінення).
2. Діордієв В.Т., Никифорова Л.Є., Сабо А.Г. Оптимізація режимів резонансно-періодичного опромінення розсади огірків за критерієм енергозбереження // Труды Таврической государственной агротехнической академии – Вып.1., Т. 7. - Мелитополь: ТГАТА, 1998. – С. 26-33. (Особистий внесок здобувача– 65%. Розроблено критерій та проведено вимірювання енерговитрат).
3. Сабо А.Г. Осциляторна модель рослини при світлоіндукованих коливаннях біоелектричних потенціалів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.1., Т. 17. – Мелітополь: ТДАТА, 2000. – С. 89-94.
4. Никифорова Л.Є., Сабо А.Г. До пошуку режимів та діапазонів ефективного електромагнітного впливу на життєдіяльність сільськогосподарських біологічних об'єктів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.1., Т. 14. – Мелітополь: ТДАТА, 2000. – С. 44-47. (Особистий внесок здобувача – 70%. Розглянуто шляхи пошуку ефективних режимів впливу на життєдіяльність рослинних сільськогосподарських біологічних об'єктів.).
5. Никифорова Л.Є., Сабо А.Г. Використання резонансних явищ для моніторингу і впливу на життєдіяльність сільськогосподарських біологічних об'єктів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.1., Т. 18. – Мелітополь: ТДАТА, 2001. – С. 56-59. (Особистий внесок здобувача – 70%. Розглянуто шляхи пошуку резонансних режимів для моніторингу та впливу на життєдіяльність рослинних біологічних об'єктів).
6. Сабо А.Г. Визначення параметрів періодичних режимів опромінення при аналізі спектральних характеристик світлоіндукованих коливаннях біоелектричних потенціалів рослин // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.1., Т. 19. – Мелітополь: ТДАТА, 2001. – С. 101-105.
7. Никифорова Л.Є., Сабо А.Г. Алгоритми для автоматичного діагностування стану сільськогосподарських біооб'єктів // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Вип.6. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – С. 415-419. (Особистий внесок здобувача – 65%. Запропоновано

алгоритм для діагностування стану рослинних біооб'єктів).

8. Сабо А.Г. Результати випробувань біотехнічної системи “розсада-середовище” з використанням періодичних режимів опромінення // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.1., Т. 24. – Мелітополь: ТДАТА, 2001. – С. 86-91.

9. Діордієв В.Т., Сабо А.Г., Чаусов С.В. Ефективність інвестицій на впровадження енергозберігаючих технологій у кормовиробництві та рослинництві // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.1., Т. 20. – Мелітополь: ТДАТА, 2001. – С. 15-19. (Особистий внесок здобувача – 40%. Запропоновано новий метод визначення строків кредитування для впровадження енергозберігаючих технологій у рослинництві).

10. Пат. №47048А Україна, МКВ7 А01G9/26. Спосіб опромінення розсади рослин у теплицях. / Діордієв В.Т., Сабо А.Г. (Україна). - №2001074580; За явлено 03.07.01; Опубл. 17.06.02; Бюл. №6. (Особистий внесок здобувача – 60%. Проведено визначення резонансних частот АЧХ СК БЕП розсади для різних умов середовища та етапів розвитку рослин).

АНОТАЦІЯ

Сабо А.Г. Енергоощадна технологія вирощування розсади овочевих культур на основі періодичних режимів опромінення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.16 – Застосування електротехнологій у сільськогосподарському виробництві. Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітополь, 2002.

В дисертаційній роботі наведено обґрунтування параметрів ефективних енергоощадних періодичних режимів опромінення розсади овочевих культур в умовах захищеного ґрунту на основі аналізу амплітудно-частотних характеристик світлозалежних коливань біоелектричних потенціалів рослин. Для практичного застосування найбільш придатні періоди опромінення, що відповідають першим двом низькочастотним пікам амплітудно-частотних характеристик. Виходячи з отриманих рівнянь регресії можна визначити оптимальне значення періоду опромінення в залежності від виду, сорту, віку рослини та параметрів середовища. Встановлено, що застосування зазначених періодів опромінення сприяє прискоренню розвитку розсади та значній економії електричної енергії. Автором розроблено алгоритм та спосіб опромінення розсади рослин та шляхи і технічні засоби для його реалізації при управлінні опроміненням у біотехнічній системі "розсада-середовище".

Ключові слова: енергоощадна технологія, розсада, біотехнічна система, періодичне опромінення, адаптивне управління, світлозалежні коливання, біоелектричні потенціали, амплітудно-частотна характеристика, параметри середовища, рівняння регресії.

АННОТАЦИЯ

Сабо А.Г. Энергосберегающая технология выращивания рассады овощных культур на основе периодических режимов облучения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.16 – Применение электротехнологий в сельскохозяйственном производстве. Таврическая государственная агротехническая академия. – Мелитополь, 2002.

В работе обоснована актуальность выбранной темы исследований, сформулированы цель и задачи исследований. Рассмотрена задача повышения эффективности использования рассадой овощных культур световой энергии, получаемой от источников искусственного облучения при использовании периодического изменения уровней освещенности. В первом разделе работы произведен анализ основных путей экономии энергии при использовании периодических режимов облучения растений и поиск параметра состояния растения, за которым можно установить параметры периодических режимов. Несмотря на то, что периодические режимы облучения были объектом изучения многих исследователей, их параметры во многих случаях не имели достаточного обоснования и базировались на эмпирических данных или же показателях, контроль которых сложен. Установлено, что для объекта управления с нестационарными параметрами, каким являются растения в биотехнической системе "рассада-среда" периодические режимы облучения могут быть более эффективными при наличии адекватной информации о физиологическом состоянии растений. Сравнительный анализ возможных информационных показателей свидетельствует, что наиболее перспективным является использование светозависимых биоэлектрических реакций (СБЭР) растений, связь которых с физиологическим состоянием растительного организма несомненна. В свою очередь, для минимизации дисперсии воспроизводимости наиболее эффективным является использование амплитудно-частотных характеристик индуцированных светом колебаний биоэлектрических потенциалов (АЧХ СК БЭП), при изучении и использовании которых для обоснования параметров периодических режимов можно создать биотехническую систему с адаптивным управлением параметрами периодического облучения рассады по модели.

Теоретически установлено, что скорость фотосинтеза и связанные с фотосинтезом показатели СБЭР при изменении уровня освещенности претерпевают сложный переходный процесс. Вид и параметры этого процесса имеют сложную зависимость как от внешних факторов (параметров среды), так и от внутренних (генотип, фаза развития), прежде всего из-за изменения концентраций действующих в основных реакциях фотосинтеза веществ, которые определяются фазой развития и генотипичной специфичностью. Таким образом, определение зависимостей параметров периодических режимов от

действующих входных факторов целесообразно проводить методом активного многофакторного эксперимента.

Приводятся предложенные автором модели растений при наличии СК БЕП в виде последовательных электрических контуров с нелинейными элементами. В рамках этих моделей при теоретическом анализе установлено, что следует ожидать стимуляции развития рассады и прежде всего ее корневой системы при периодических режимах искусственного облучения в рамках микрофотоценоза сооружений закрытого грунта.

Экспериментальные исследования позволили установить зависимость параметров АЧХ СК БЕП прежде всего от генотипической специфичности (т.е. вида и сорта) растений, их возраста и таких параметров среды, как температура воздуха и переменной составляющей уровня освещенности. Для практического применения наиболее пригодны значения периодов, которые соответствуют двум низкочастотным пикам АЧХ СК БЕП. Для этих пиков методом активного эксперимента с использованием рототабельного центрального композиционного плана определены зависимости периодов и амплитуд СК БЕП растений от возраста растений, температуры окружающего воздуха и переменной составляющей уровня освещенности в виде уравнений регрессии для рассады овощных культур рода пасленовых (томатов, перца и баклажан, по два сорта). На основе полученных уравнений регрессии была разработана программа на языке Turbo Pascal для определения длительности периода облучения и параметров предложенных моделей растений. Проведенные экспериментальные исследования позволили выявить основные закономерности распространения СК БЕП между органами одного растения и между растениями в ценозе. Установлено, что выращивание рассады с использованием определяемых по уравнениям регрессии значений периодов, соответствующих пикам АЧХ СК БЕП, способствует улучшению ее морфологических характеристик, обеспечивает при этом наиболее быстрое получение рассады и наибольшую экономию энергии.

На основе проведенных исследований предложен способ облучения рассады растений в теплице, разработан алгоритм облучения рассады овощных культур и технические средства для его реализации. Проведенные опытные и производственные испытания биотехнической системы "рассада-среда" с адаптивным управлением по модели подтвердили высокую эффективность применения периодических режимов облучения. Экономия энергии составила 34...37% при получении рассады на 5...7 дней раньше при заметном улучшении морфологических характеристик рассады, что привело к повышению урожайности томатов на 9...11% и перца на 9...13%. Техничко-экономические расчеты показали, что применение предложенной системы будет эффективно. Даны рекомендации по внедрению разработки.

Ключевые слова: биотехническая система, периодическое облучение, адаптивное управление по модели, светозависимые колебания, биоэлектрические потенциалы, амплитудно-частотная характеристика, параметры среды, уравнение регрессии.

ABSTRACT

Sabo A.G. The energy-saving technology of vegetable seedlings' growing on the base of periodic irradiation modes. Manuscript.

Theses for a candidates degree by specialty 05.09.16 Application of electric technologies in agricultural manufacture. Tavria Agrotechnical State Academy. Melitopol, 2002.

In the dissertation the author gives the foundation for the parameters of effective energy-saving periodic modes for vegetable seedlings' irradiation in the protected ground conditions. This foundation is made on the base of amplitude-frequency response analysis for plant bioelectric responses to light/dark cycles. The periods, corresponded with two first peaks of amplitude-frequency response are the most applicable for practical usage. The vegetable seedlings' irradiation algorithm and method are elaborated on the base of obtained regression equations, which are highly applicable for irradiation period optimization by the calculation from the data of the environmental conditions and the plants' species sort and age.

As far as it was determined both in theoretic and experimental ways, the proposed irradiation mode usage gives substantial economy of consuming energy and seedlings' growing acceleration. The ways and the technical means are proposed for this method realization during irradiation control in biotechnical system "Seedlings-Environment".

Key words: biotechnical system, periodic irradiation mode, adoptive control by the model, plant bioelectric responses to light/dark cycles, amplitude-frequency response, environmental conditions, regression equation.

Підписано до друку 1.11.2002р.

Формат 145x215(60x90/16)

Обсяг 1,0 ум.друк.арк.

Зам № 87

Тираж 100 прим

Адреса редакції видавця та поліграфпідприємства
ТДАТА, просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, 72312.
