

НУБІП України  
Декану факультету  
Капелуну Віктору Володимировичу

студента 6 курсу групи АКИТ-20001м

спеціальності 151 Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньої програми Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології

освітнього ступеня «Магістр»

Луганського Віталія Дмитровича  
ЗАЯВА

Прошу закріпити мене для написання кваліфікаційної магістерської роботи

за кафедрою автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка та  
призначити керівником проф. Нікіфорову Л.Є.

Тема роботи: Дослідження та вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи  
автоматизації процесом опромінення розсади овочевих культур в теплиці, з

використанням КТЗ ОВЕН

“ ” 20 р. Підпис  
ПОГОДЖЕНО

“ ” 20 р.

Декан факультету Капелун В.В.  
(підпис) (ПІБ)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Лисенко В.П.

(підпис) (ПІБ)

Керівник

кваліфікаційної

НУБІП України  
магістерської роботи (підпис) Нікіфорова Л.Є. (ПБ)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і  
енергозбереження

# НУБІП України

УДК

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан факультету

Завідувач кафедри

ННІ ЕАіЕ

Автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

Капун В.В.

Лисенко В.П.

(підпис)

(ПІБ)

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 20 р.

“ ” 20 р.

# НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Дослідження та вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизації процесом опромінення розсади овочевих культур в теплиці, з використанням КТЗ ОВЕН

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

Шворов С.А.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

# НУБІП України

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор технічних наук, професор

Нікіфорова Л.Є.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

# НУБІП України

Виконав

Луганський В.Д.

(підпис)

(ПІБ студента)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики і  
енергозбереження

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри автоматики та  
робототехнічних систем

ім. акад. І. І. Мартиненка

доктор технічних наук, професор Лисенко В.П.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПШБ)  
“ ” 20 року

### ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТУ  
Луганському Віталію Дмитровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)  
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(назва)  
Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Дослідження та вдосконалення  
комп'ютерно-інтегрованої системи автоматизації процесом опромінення розсади  
овочевих культур в теплиці з використанням КТЗ ОВЕН  
затверджена наказом ректора НУБіП України від «01» лютого 2021р. № 176.С  
Термін подання завершеної роботи на кафедру 2022.травня.10  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи система контролю швидкості  
та температури зерносушарки, наукова література, матеріали обстежень  
господарств, інтернет-ресурси.

# НУБІП України

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу.
2. Дослідження об'єкта автоматизації.
3. Вибір регулятора та обґрунтування його параметрів.
4. Дослідження системи автоматизації.
5. Схеми системи автоматизації
6. Техніко-економічне обґрунтування.

# НУБІП України

# НУБІП України

Дата видачі завдання «01» лютого 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Нікіфорова Л.Є.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Луганський В.Д.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

# НУБІП України

## АНОТАЦІЯ

У даній магістерській кваліфікаційній роботі проведено аналіз стану електрифікації й автоматизації виробничих процесів у теплиці. Зроблено опис опромінювальних установок, що застосовуються у сучасних тепличних господарствах.

Запропоновано енерго - ресурсозберігаючий резонансно - періодичний режим опромінення розсади огірків в умовах захищеного ґрунту та технічне рішення по його реалізації.

Розроблений алгоритм керування періодичним опроміненням рослин. Побудовано математичну модель біоелектричної реакції при дії зовнішніх факторів.

Визначено оптимальні параметри оточуючого середовища, що призводять до максимальної активізації фізіологічних процесів в овочевих культурах. Прийняті інженерні рішення підтверджені техніко-економічними розрахунками.

Ключові слова: опромінення, рослини, розсада, алгоритм керування, автоматизація.

# НУБІП України

## ANNOTATION

This master's qualification work analyzes the state of electrification and automation of production processes in greenhouses. It is made the description of the polluting installations, which are used in modern greenhouse enterprises.

The energy-resource saving resonance-periodic mode of planting of fireplaces in conditions of protected ground is suggested and technical solution for its realization is given.

Developed an algorithm for controlling the periodic sampling of crops. A mathematical model of bioelectric reaction under the influence of external factors was developed.

The optimum parameters of the environment were found that lead to maximum activation of physiological processes in vegetable crops. Accepted engineering solutions are confirmed by technical and economic calculations.

Key words: survey, plants, planting, control algorithm, automation.

# НУБІП України

|               |      |          |        |      |      |
|---------------|------|----------|--------|------|------|
| НУБІП України |      |          |        |      | Арк. |
| Змін.         | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 6    |

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

|   |    |
|---|----|
| <b>ЗМІСТ</b>  |    |
| ВСТУП.....  | 10 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....   | 12 |
| 1.1 Аналіз шляхів енергозбереження при електроопроміненні рослин в умовах захищеного ґрунту.....    | 12 |
| 1.2 Огляд досліджень з світлозалежної біоелектричної активності рослин.....                         | 13 |
| 1.2.1. Природа світлозалежної біоелектричної активності рослин.....                                 | 13 |
| 1.2.2. Залежність характеристик біоелектричної реакції рослин від освітленості.....                 | 14 |
| 1.3 Аналіз впливу ритмічних змін освітленості на фізіологічний стан рослин.....                     | 15 |
| 1.3.1. Роль періодичних процесів у системах регуляції живих організмів.....                         | 15 |
| 1.3.2. Класифікація біологічних ритмів.....   | 16 |
| 1.3.3. Інформативність коливань БЕП та СБЕР.....  | 17 |
| 1.3.4. Засоби вимірювання електрофізіологічних характеристик рослин.....                            | 18 |
| 1.4. Передумови до оптимального використання енергетичних впливів.....                              | 19 |
| РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН В ТЕПЛИЦІ.....      | 25 |
| 2.1. Аналіз технології вирощування розсади овочевих культур з використанням електроопромінення..... | 26 |
| 2.2 Вибір та розгляд прийнятої технології періодичного опромінення рослин.....                      | 29 |
| 2.3 Формулювання загальної задачі роботи.....   | 33 |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО РЕГУЛЮВАННЯ ОПРОМІНЕННЯМ РОЗСАДИ.....                 | 34 |
| 3.1 Визначення параметрів об'єкта автоматизації.....  | 34 |
| 3.2 Вибір технічних засобів для отримання інформації від рослин.....                                | 38 |
| 3.3 Розробка структурної схеми САУ.....   | 40 |
| 3.4 Розробка та дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації.....                           | 44 |
| РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОСВІЧУВАННЯ ОГРІКІВ.....               | 52 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1. Ефективність САК через часткове зашторювання по положенню сонця ..                                 | 52  |
| 4.4. Вибір первинного перетворювача освітленості .....  | 59  |
| 4.5. Вибір виконавчого механізму і регулюючого органу .....   | 63  |
| 4.6. Розробка програмно-апаратного забезпечення для реалізації алгоритму ...                            | 64  |
| РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ СПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ   |     |
| АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ .....   | 73  |
| 5.1. Побудова перехідного процесу із використанням імітаційного моделювання та оцінка його якості ..... | 73  |
| РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ТА СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ   |     |
| ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....  | 76  |
| 6.1. Розрахунок для ламп .....  | 76  |
| 6.2. Вибір пускозахисної апаратури САК .....  | 78  |
| 6.3. Вибір проводів та кабелів САК .....  | 86  |
| 6.4. Розробка принципової схеми САК .....   | 87  |
| 6.5. Розробка схеми з'єднань САК .....  | 89  |
| 6.6. Розробка схеми підключення САК .....   | 90  |
| 6.7. Розборка щита управління САК на щиті керування розміщені: .....                                    | 90  |
| 6.8. Розробка показників надійності САК .....   | 91  |
| РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ  |     |
| РЕЗОНАНСНО-ПЕРІОДИЧНОГО РЕЖИМУ ОПРОМІНЕННЯ .....  | 94  |
| 7.1. Дослідження впливу на рослини біосистеми різних режимів резонансно-періодичного опромінення .....  | 94  |
| 7.2. Техніко-економічна ефективність впровадження резонансно-періодичного режиму опромінення .....      | 100 |
| ВИСНОВКИ .....  | 104 |
| Список літератури .....   | 105 |

НУБІП України

## ВСТУП

Проблема ресурсо- і енергозбереження придбала в даний час світове значення. Питання енергозбереження входять у плани економічного і соціального розвитку країни, економічних регіонів і підприємств. Якщо раніш, коли щорічний абсолютний приріст споживання енергії був незначний, основна увага приділялася нарощуванню потужностей, то тепер необхідно зробити так, щоб споживана енергія використовувалася найбільше ефективно.

Водночас електроенергії й інших енергетичних ресурсів у країні не вистачає. Енергосистеми змушені обмежувати споживання енергії, вводити спеціальні режими. Проте обмежувальні міри, як правило, неефективні і, більш того, можуть призвести до зниження виробництва продукції. Тому заощаджувати електроенергію треба не обмеженням її відпустки, а системою науково обгрунтованих технічних заходів, основним із яких є створення енергозберігаючих технологій і систем керування. При цьому треба враховувати, що економія не тільки електроенергії, але і будь-яких інших енергетичних ресурсів є потужним засобом зниження собівартості сільськогосподарської продукції, а зекономлена енергія може бути використана для збільшення виробництва сільськогосподарської продукції.

Відомо, що енергетичні витрати складають 30-40% витрат на виробництво тепличної продукції. Овочівництво захищеного ґрунту є самою енергоємною галуззю сільського господарства. Витрати на енергію складають 40-60% від собівартості овочів. Закритий ґрунт забезпечує розсадою відкритий ґрунт і є джерелом забезпечення ранніх овочів у несезонний період.

Біля 30% всіх овочів відкритого ґрунту вирощується розсадним способом. Щороку на Україні вирощується 5 млрд. шт. розсади. Швидкі темпи росту площі захищеного ґрунту обумовлені насамперед успіхами хімічної промисловості у виробництві полімерних матеріалів (у першу чергу світлопрозорої плівки), що дозволили створити дешеві і легкі культивацийні спорудження нового типу, а також організацією промислового виготовлення блокових і ангарних теплиць із високим ступенем механізації й автоматизації робіт.

Для задоволення потреби населення в продукції захищеного ґрунту при рівномірному їхньому надходженні з листопада по червень і для повного забезпечення відкритого ґрунту розсадою на Україні необхідно мати 1500 га застелених і 2800 га розсадноовочевих плівкових теплиць. Система використання культивацийних споруджень припускає зимові застелені теплиці використовувати під огірками на площі 550 га і розсадноовочеві після вирощування розсади в другому оборті - помідорами на площі 360 га, огірками - 300 га.

Таким чином, площі захищеного ґрунту постійно збільшуються і повинні зрости не менше, ніж у 2 рази в порівнянні з існуючими. У зв'язку з ростом площ теплиць, великими витратами на їхнє спорудження й експлуатацію, дуже актуальною є проблема розробки енергозберігаючих режимів вирощування овочів. При цьому дуже важливим є дослідження резонансних режимів опромінення, за допомогою яких можна управляти ростом і розвитком рослин.

Основними споживачами електроенергії теплиць (у першу чергу розсадних відділень) є опромінювачі. Вони створюють необхідний радіаційний і температурний

фони в помешканні. Тому від режиму роботи опромінювачів залежить електроспоживання теплиці. Отже розробка енергозберігаючих режимів електроопромінення, що дозволяють забезпечити максимальну ефективність використання рослиною енергії випромінювання, є задачею великої важливості.

Відомо, що вузьким місцем тепличного виробництва виступає зимово-весняний період, коли виробництво овочів у значній мірі лімітується хибою природної фотосинтетично активної радіації (ФАР). У цей період одним із чинників, що сприяють інтенсифікації тепличного виробництва, є підтримка в спорудженнях захищеного ґрунту визначеного світлового режиму за допомогою застосування системи штучного опромінення. В даний час із найбільшою ефективністю штучне опромінення застосовується при вирощуванні розсади огірків і томатів. Освітлення дозволяє в 1.5...2 рази скоротити терміни вирощування розсади, поліпшити її біометричні показники, збільшити ранні і загальні врожаї овочів.

Треба визнати, що питання ефективного використання енергії оптичного випромінювання рослинами, як засіб до досягнення цілі енергозбереження належного розвитку не вдержали. Це пов'язано з тим, що при розробці режимів електроопромінення і їхньої реалізації, відсутня інформація від біооб'єкту (об'єкта керування) про його стан. Це особливо важливо, коли мають місце впливи, що обурюють. Наявність такої інформації є необхідною умовою для створення енергозберігаючого режиму опромінення при якому би мало місце не тільки обмеження споживаної енергії, але і максимально ефективного використання енергії випромінювання, утворюване опромінювачами.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

## 1.1 Аналіз шляхів енергозбереження при електроопроміненні рослин в умовах захищеного ґрунту

Збільшення виробництва сільськогосподарської продукції супроводжується підвищенням питомих витрат антропогенної (що виробляється людиною) енергії [1].

Зараз за кордоном на виробництво продовольства витрачається 15...20% національних енергоресурсів. Це складає тільки біля 2% від всієї енергії, що споживається в рослинництві. Інші 98% припадають на оптичне випромінювання сонця.

Відповідно і в спорудах захищеного ґрунту більшість витрат падає на опалення та освітлення. Використання засобів механізації тут ще не набуло такого рівня розвитку, який міг би суттєво впливати на загальні енерговитрати.

Доля поглиненої рослинами енергії опромінення складає біля 80%. З неї на фотосинтез використовується 1...2%. За іншими джерелами, максимальна фотосинтетична активність складає 16...24%. Таким чином, маємо передумови для зниження енергоємності вирощування сільськогосподарської продукції за рахунок раціонального використання наявних джерел опромінення.

Дія опромінення на рослини розділяється на енергетичні та керуючі.

Гіпотеза про самостійне стримування підвищення ентропії живими організмами дозволяє пояснити можливість існування керуючих (регулюючих) впливів та їх механізм, фізіологічні процеси в живих організмах супроводжуються електричними процесами, останні ж одночасно є фактором, що регулює процеси життєдіяльності. Керуючі впливи діють на енергоекономічну поведінку живої клітини.

Енергетичні впливи поділяються на фотосинтетичні та теплові. Зараз досліджуються залежності інтенсивності формування біомаси та господарські корисного врожаю різних видів і сортів рослин від коефіцієнту використання енергії фотосинтезу оптичних опромінь при різних екологічних умовах.

З керуючих впливів найбільш вагомим вважається фотоморфогенезний, а також фотоперіодичний та фототропічний. Регулюючі впливи оптичного опромінення на рослини виявляються в зміні активності фітохромних реакцій. Відомі дві взаємно перетворювальні форми фітохрому з максимумами поглинання при довжині хвилі 600 і 730 нм, при цьому одна з них прискорює процеси розвитку та плодоношення рослин, друга ж їх уповільнює. Встановлений тісний взаємозв'язок фотоперіодизму рослин з фітохромними реакціями.

У зв'язку з цим існує два шляхи економії енергії при освітленні (електроопроміненні) рослин в спорудах захищеного ґрунту: оптимізація енергетичних впливів та максимальне використання керуючих впливів.

Для того, щоб можна було використовувати керуючі впливи, варто вивчити їхню природу, визначити чинники, що впливають на морфологічні характеристики в рослинних організмах і мати достатньо інформативний показник стану рослин.

З метою вивчення керуючих впливів випромінювання варто проаналізувати

питання біоелектричної активності рослин, тому що накопичений великий експериментальний матеріал, що свідчить про кореляцію між електричними і морфологічними характеристиками рослин, крім того варто визначити роль періодичних процесів у системі регуляції живих організмів.

## 1.2. Огляд досліджень з світлозалежної біоелектричної активності рослин

### 1.2.1. Природа світлозалежної біоелектричної активності рослин

Безсумнівна функціональна роль електричних сигналів, що поширюються, у рослинах.

Відповідно до загального принципу надійності функціонування біологічних систем, координація життєдіяльності рослинного організму здійснюється по декількох паралельних каналах [11], одним із яких є електричний.

Імпульс збудження, що поширюється в провідних тканинах, є, першим найбільш терміновим типом зв'язку, що забезпечує швидку взаємодію між органами до того, як у силу вступають більш повільні канали, засновані на транспорті фітогормонів і пластичних речовин.

Встановлено вплив електричних сигналів, що поширюються, на фотосинтез, подих, водяний обмін, поглинання речовин коренями, пересування речовин у провідних тканинах, запліднення, нектаровиділення, ріст, трітисми і деякі інші процеси.

Зміна електричних потенціалів є посередником багатьох типів рухової активності в рослинах (рух листів, квітів, коренів, паростків, подушечок, цитоплазматичних потоків). При цьому відбувається зміна іонних співвідношень у клітинах і запускаються процеси, що призводять до виходу води і зменшенню тургорного тиску тканини.

Через біоелектричну реакцію здійснюється оперативний механізм зв'язку і координації просторово віддалених частин і органів рослин, зокрема, між надземною частиною і коренями.

Слід зазначити важливу роль електричних сигналів, що поширюються, у відповідних реакціях на помірні зовнішні впливи, такі, як світло, відносно невеликі перепади температури, слабкі механічні подразники, дії мінеральних солей і т.д., тобто біоелектричні сигнали відіграють координуючу роль не тільки в екстремальних, але й у повсякденних умовах. Ще в 1892 р. Хааке спостерігав зміни біо-потенціалів листів рослин при вмиканні і вимиканні світла.

Світло-залежна біоелектрична активність рослин виражається у виникненні градієнтів електричних потенціалів між ділянками рослини, що знаходяться в різних світлових умовах, або тієї ж самої ділянки при переході з одного світлового режиму в інший. Світло-індуційована біоелектрична активність є властивістю, тканин рослин, що містять хлорофіл.

## 1.2.2. Залежність характеристик біоелектричної реакції рослин від освітленості

Як відзначалося раніше, у відповідь на різку зміну освітленості в рослинах виникає відповідна біоелектрична реакція. Дана реакція носить, як правило, характер згасаючих коливань і супроводжується виходом на новий стаціонарний рівень.

Основні характеристики світлозалежної біоелектричної реакції (СБЕР) листів рослин у значній мірі залежать як від параметрів самого світлового впливу, так і від умов навколишнього середовища.

Залежність СБА рослин від інтенсивності при вмиканні і вимиканні світла була встановлена вперше А. Уеллером в 1900 р. Подальші дослідження показали пряму кореляцію між інтенсивністю освітлення і величиною СБЕР.

Абсолютний поріг виникнення електрореакції на вмикання світла не перевищує 100 лк. В міру посилення світла відбувається поступова зміна тривалості послідовних фаз і амплітуд електрореакцій, змінюється їхня форма. Причому для більшості рослин по мірі збільшення величини освітленості спочатку відзначається лінійне зростання амплітуд усіх фаз, а потім процес їх насичення. Існує також думка, що максимальне значення сигналу спостерігається при освітленості, до якої рослина адаптувалася в процесі вирощування.

Виділяють два діапазони освітленості: низько енергетичний (до 10 Вт/м<sup>2</sup>) і високо енергетичний (від 10 Вт/м<sup>2</sup> до 50 Вт/м<sup>2</sup>). У першому діапазоні різниця світлоземних рівнів до і після перехідної реакції позитивна (зростає), у другому - зменшується.

На думку Рибіна І.О., сталості форми біоелектричної реакції на вмикання світла (ТС-реакції) при високих амплітудах фаз задовольняє ділянка інтенсивностей, що не перевищує  $13 \cdot 10^3$  ерг/см<sup>2</sup>·с (тобто приблизно 2500 лк). Використання більш сильного освітлення може супроводжуватися зниженням амплітуди деяких фаз, порушенням їхніх початкових співвідношень і появою нових фаз ТС-реакції. При цьому відзначається, що нижня межа освітленостей лежить там, де починається нормальна ТС-реакція. Її розмір варіює від 200 до 1200 лк у різноманітних рослин.

Одним із можливих пояснень різноманітної ефективності дії світла може служити припущення про те, що джерела світлозалежного біоелектричності хлорофілоносні клітини тканини листа - мають різноманітні пороги фотоактивації, причому кількісний розподіл цих джерел по шкалі освітленості має одновіршинний характер із середньою точкою, що лежить в інтервалі від 0,5 до  $1 \cdot 10^4$  ерг/см<sup>2</sup>·с. ТС-реакція являє собою результуючу криву фотоактивації всього статичного ансамблю джерел світлозалежного біоелектричності.

При низьких освітленостях біоелектрична реакція (БЕР) пов'язана з фотоактивацією пігментних систем фотосинтезу. При цьому спостерігається реціпрокний характер взаємовідносин світлоіндуційованих змін біоелектричних потенціалів (БЕП) із фотосинтезом.

Тривалість СБЕР залежать від передісторії, тобто від тривалості попередніх періодів світла і темряви, причому характер даної залежності дуже складний і неоднозначний. Реакції на вмикання і вимикання світла після проходження ряду фаз закінчуються виходом на новий стаціонарний рівень, стабільність якого залежить від

стійкості фізіологічного стану рослинного об'єкта в даному світловому режимі. Якщо переключення світлового режиму здійснити раніш, чим рослина підком завершить перехід, можуть виникнути залишкові ефекти, що позначиться на характері наступних перехідних процесів. Занадто тривалі періоди світла і темноти також позначаються на структурі ТС- і СТ- реакції.

На думку більшості авторів, 20-хвилинних інтервалів темноти і світла в середньому достатньо для багатократних спостережень ТС- і СТ- реакцій без істотних змін рівня СБА протягом найближчих декількох годин. Більш тривалі експозиції світла і темноти можуть впливати на СБА в слідстві зниження рівня електрофізіологічної активності, що зв'язує тривалим перебуванням рослинного об'єкта в тому або іншому світловому режимі.

Характер СБА значною мірою залежить і від спектрального складу світла. Перехід від однієї довжини хвиль до іншої може викликати сильні зміни рівня стаціонарного потенціалу листа рослини внаслідок різноманітної чутливості пігментних чинників до тих або інших ділянок спектра.

Світлоіндуційована біоелектрична активність рослин значно залежить від температури. Існує деякий температурний оптимальний інтервал, при якому амплітудні параметри СБЕР приймають максимальні значення.

Існує тісний зв'язок між СБА листів рослин і швидкістю асиміляції  $CO_2$  і фотодиханням.

Як очевидно з приведеного аналізу, залежність характеристик СБЕР від зовнішнього впливу носить складний характер. Проте, очевидний той факт, що СБА є інтегральним показником біоелектричних процесів на клітинному рівні, обумовлена діяльністю пігментних систем фотосинтезу [51, 39], звідси випливає висновок про можливість її використання в якості показника життєдіяльності тканин рослин, що фотосинтезують.

В даний час остаточно встановлено, що СБА листів рослин пов'язана з змістом хлорофілу і фотосинтетичною активністю. Фотосинтетичні процеси займають центральне місце у виникненні світлоіндуційованої електрореакції.

Таким чином, біоелектричні явища грають важливу роль у життєдіяльності рослинних організмів, універсальною властивістю тканин рослин, що фотосинтезують, є їхня спроможність реагувати на світловий вплив зміною своїх електричних потенціалів.

### 1.3 Аналіз впливу ритмічних змін освітленості на фізіологічний стан рослин

#### 1.3.1. Роль періодичних процесів у системах регуляції живих організмів

На протязі мільйонів років еволюційного розвитку поряд з процесами безперервного ускладнення та удосконалювання структурної організації, йшов також і процес їх тимчасової організації. Адаптація організмів до умов середовища, що постійно змінюються, забезпечувалося не окремими органами, а скоординованими в часі та просторі і співпідпорядкованими між собою функціональними системами.

Періодичні процеси, що відображають фундаментальний принцип будовання живих систем - принцип "стійкості нерівноваги" Бауера [54], відіграють величезну роль у процесах еволюції живих організмів [55], синхронізації та узгодженні за часом різних біохімічних процесів у клітинах, обумовлюють усі види рухів, визначають характер взаємодій клітин та процеси морфогенезу, полягають в основі механізмів ферментативної регуляції.

Періодичні процеси, які є основою механізму біологічних годинників, роблять можливим адаптацію організмів до умов навколишнього середовища, що змінюються. У основі всіх сезонних змін у рослинні полягають явища фото- та термоперіодизму, обумовлені наявністю в них багатьох прихованих коливальних процесів.

За думкою більшості дослідників, коливальні процеси є основою функціональної організації всіх без винятку біосистем. Згідно з цими уявленнями, усі регулюючі кола в біосистемах побудовані як осцилятори, що взаємодіють між собою в різних масштабах часу для забезпечення тимчасового узгодження різних процесів. Це робить можливим наявність в одній і тій же крапці простору декількох різних коливальних процесів з різними періодами. При цьому взаємодії між ними та координація створюється завдяки наявності ієрархічної структури просторово-часової організації біооб'єкту.

### 1.3.2. Класифікація біологічних ритмів

Коливання (або ритми) у біологічних системах займають широкий діапазон періодів - від мілісекунди (явища в нервових клітинах) до декількох років (коливання чисельності в популяціях), при чому величина цього діапазону постійно розширюється. Між ними розташовується цілий спектр активності.

Усі ритми, що спостерігаються в біологічних системах, можна розділити на екзогенні, що поданою реакцію на періодичний зовнішній вплив і ендогенні, породжувані усередині самої системи.

Екзогенні ритми подібні змушеному коливанню у пасивних системах (коливання можливі тільки при дії зовнішніх періодичних обурень і загасають, коли зовнішній вплив стає постійним). Ендогенні ритми часто уподібнюють автоколиванням в активних системах.

На думку багатьох дослідників, в основі виникнення незатухаючої ендогенної ритмічної активності може лежати автоколивальна система біохімічних реакцій.

Очевидно, першим дослідником, якому удалося зареєструвати біохімічні коливання, був Ауфдемгартен. У його роботі приведені згасаючі коливання швидкості газообміну в процесі фотосинтезу.

У більшості біохімічних систем періодичні коливання в більшому або меншому ступені є загасаючими.

Стойкі автоколивання в біохімічних системах уперше були виявлені в 1966 р., коли ряд авторів одержали стійкі автоколивання з періодом у декілька хвилин для концентрації відновленого піридинуклеотида

Обов'язковою умовою виникнення стійких ендогенних коливань, що не загасають протягом тривалих проміжків часу, є наявність у системі хоча б однієї

петлі зворотного зв'язку.

Циркадну ритміку в рослині варто віднести, очевидно, до числа екзогенних, тобто індуційованих періодичними зовнішніми чинниками, коливань.

### 1.3.3. Інформативність коливань БЕП та СБЕР

Осциляторний характер біоелектричних характеристик відзначається на різноманітних рівнях ієрархії регуляторних систем: на рівні органел, клітин, органів, на рівні організму.

По сучасних уявленнях, коливання мембранного потенціалу виникають або внаслідок періодичних змін іонної проникності, або за рахунок флуктуацій роботи електрогенної помпи. Подібні флуктуації можливі внаслідок наявності ланцюга зворотного зв'язку між іонною помпою і метаболічним циклом. Следством функціонування подібного ланцюга зворотного зв'язку може бути періодична зміна концентрації іонів, що також призводить до коливань мембранного потенціалу.

Виникнення незатухаючих коливань у рослин і ендогенної ритміки БЕП, у всіх випадках, що визначаються, супроводжувалося періодичними змінами параметрів водного режиму рослин, що з урахуванням розміру їхнього періоду (15-50 хв.) дало підставу більшості авторів припускати, що в основі виникаючих автоколивань лежить синхронне відкривання і закривання продохів.

Генерація ендогенних коливань спостерігається, як правило, на зовнішньо здорових рослинах при сприятливих умовах середовища. Можливість їх виникнення зростає, якщо сприятливі умови для рослин створюються ступінчато, у виді поштовху, що збільшує фізіологічну активність рослин після короточасного впливу несприятливих чинників.

Так, у деяких рослин подібний автоколивальний режим виникав, як правило, у результаті поливу після того, як рослини декілька днів знаходилися в посуші. Дуже часто впливом, що ініціює, для запуску автоколивань була різка зміна умов освітленості, причому її розмір повинний перевищувати деякий поріг.

Водночас, спроби безпосереднього зіставлення характеру перехідної СБЕР і відзначені при цьому зміни швидкості прямивання води по черешку показали відсутність кореляції в їхньому тимчасовому ході, що дало підставу авторам виключити можливість обумовленості коливального характеру перехідної СБЕР мікромоторною діяльністю продихового апарату листа. Настільки ж сумнівна, на думку інших дослідників, її обумовленість перехідним характером асиміляції  $CO_2$ .

Значна частина незатухаючих коливань БЕП, що відзначаються на рівні біоорганізму, має період, близький до 24 годин, що в силу аналізованих раніше причин ставить під сумнів їхній ендогенний характер.

У більшості проведених дотепер робіт авторами вивчалися, як правило, коливання БЕП, що загасають, викликані раптовою зміною освітленості.

Лише в ряді випадків відзначалося виникнення незатухаючих ендогенних коливань, як правило, або після перебування рослин у несприятливих умовах, або при виконанні вимог до інтенсивності і спектрального складу світла.

Екзогенні світлоіндуційовані коливання в рослинах вивчені набагато гірше. У основному це роботи, присвячені циркадним коливанням БЕП.

Лише в деяких роботах досліджена реакція, ряду рослин на періодичну зміну умов освітлення при різноманітних фонових температурах і в рослин із різноманітним віком. У роботі відзначається, що максимальна амплітуда коливань БЕП у рослин досягалася при періоді світлового впливу  $T = 5$  хв. ( $125 \pm 5$  с. світло;  $163 \pm 10$  с. темнота). Час установлення коливань складало 1-1,5 г. При цьому відзначалася синхронність зміни коливань БЕП і водного потоку.

Водночас, авторами робився помилковий висновок про те, що в рослинному листі не відбувається процесів, що впливають на потенціал утворюючі механізми. Подібний висновок ґрунтувався на відтвореності коливань протягом декількох годин без видимих змін їхньої амплітуди і форми, що цілком припустимо. Проте безсумнівно, що при збільшенні тривалості дослуду, коливання, що спостерігаються, були б модульовані циркадною ритмікою рослин. Крім того, неймовірно, щоб амплітуда і форма коливань залишалися постійними протягом всього онтогенезу рослин.

Вивчення залежності характеристик світлоіндуційованих коливань БЕП від частоти світлового впливу показало, що в деяких рослин вона носить одно- або двовершинний характер, що говорить про спільну роботу декількох незалежних паралельних механізмів.

Автором зроблений висновок про те, що формування біоелектричної відповіді носить різко виражений резонансний характер, механізми, що регулюють його, працюють як коливальна ланка. Резонансний характер перехідних біоелектричних процесів свідчить, на його думку, про наявність ланцюга зворотного зв'язку у роботі електрогенних механізмів, що має метаболічну природу.

Авторами робилися правильні висновки про важливість резонансних режимів у рослинних організмах.

Таким чином, з еволюційної точки зору світло поряд із температурою є найважливішим природним чинником, що задає ритм. Добові коливання освітленості є чинником синхронізації всіх регуляторних систем рослинних організмів. Тривалість фотоперіоду за допомогою фітохромної системи регулює процеси схожості, росту, цвітіння і багато інші.

#### 1.3.4. Засоби вимірювання електрофізіологічних характеристик рослин

Всі технічні засоби для вимірювання електрофізіологічних характеристик цілісних рослин засновано на двох принципах

- вимір різниці потенціалів БЕП і перехідних процесів БЕП при дії різких впливів, що обурюють,

- визначення електричного опору (імпедансу) живої рослинної тканини.

Як відомо, одним із найбільше швидких і дошкульних до зміни параметрів середовища показників є біоелектрична реакція (БЕР). БЕР пов'язана з енергетичною відповіддю рослинної тканини. Зміни потенціалів відстежують практично точно всі зміни в навколишньому середовищі і є першою ланкою в причинно-наслідковому ланцюжку змін метаболізму. З огляду на інформаційну природу БЕР і її тісний зв'язок із фізіологічним станом рослини, її можна

застосовувати для контролю цього стану. БЕР є найбільше швидким показником функціонального стану рослин, з усіх параметрів, що реєструються. Перші зміни відбуваються вже через 5-10 с. після зміни рівня опромінення. Зміна інтенсивності світла призводить до пропорційного зменшення інтенсивності БЕР [12]. Звідси впливає одна з найважливіших характеристик БЕР - її достовірність, як відповідність одержуваної інформації миттєвому стану рослини. Універсальність БЕР доказує той факт, що БЕР реєструється для будь-якого виду і сорту рослин. Об'єктивність БЕР забезпечується в результаті її спостереження і високої чутливості.

Перераховані властивості швидкості, універсальності, об'єктивності дозволяють характеризувати БЕР як надійний показник функціонального стану рослин. Це визначило його роль як головного параметра, що визначає стан рослини при динамічному контролі.

Таким чином, відчиняються широкі можливості регуляції фізіологічних процесів у рослинних організмах за допомогою світлових впливів. Велика перспектива в цьому зв'язку, для керування ростом і розвитком рослин у штучних умовах, (зокрема в захищеному ґрунті), де є широкі можливості зміни режиму роботи освітлювальних установок, використовуваних у якості додаткового освітлення, особливо при узгодженні цих режимів роботи з потребами рослин.

#### 1.4. Передумови до оптимального використання енергетичних впливів

Дослідження, проведені в лабораторії штучного клімату Московської с.г. академії ім. К.А. Тімірязєва, С.- Петербурзькому агрофізичному інституті, Московському інституті фізіології рослин ім. К.А. Тімірязєва, Ставропольському с.г. інституті, показали, що рівномірне опромінення рослин за часом удень не кращий режим. У процесі фотосинтезу накопичення його продуктів є інгібітором цього процесу. ККД фотосинтезу знижується не тільки при високому рівні опромінення, але і з часом, рис. 11.

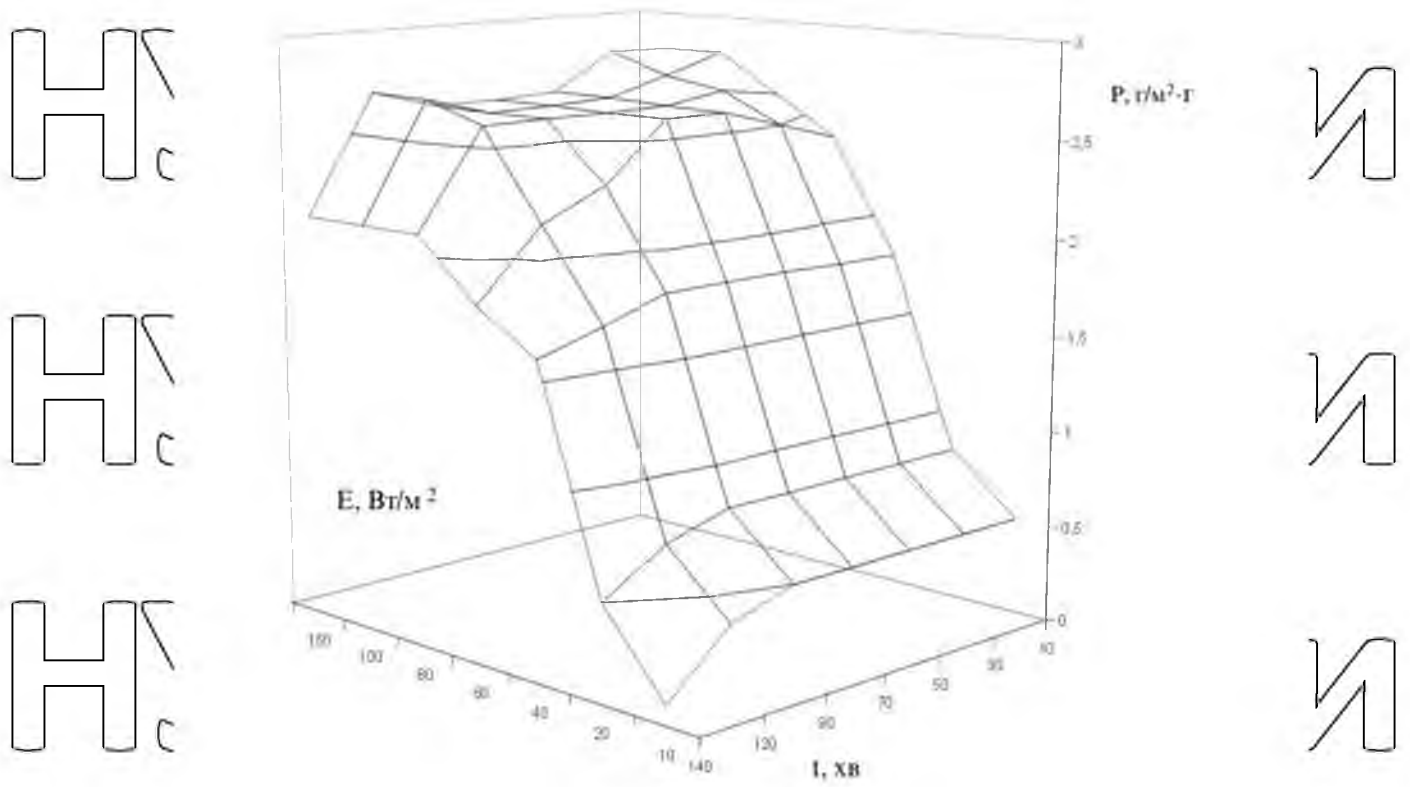


Рис. 1.1. Залежність поглинання CO<sub>2</sub> листами огірка від часу і від опромінення.

Ефективність фотопроцесу залежить від пропускної спроможності електронно-транспортних каналів, що, у свою чергу, є функція забезпечення їх сировиною (для рослин - це вуглекислий газ, мінеральне харчування, вода і тепло). Пропускна спроможність каналів обмежена. З збільшенням навантаження обмеження особливо помітно. Ряд дослідників відзначають, що проникційність між опроміненням і реакцією приймача спостерігається при відносно невеликих рівнях опромінення, рис.

1.2

НУБІП України

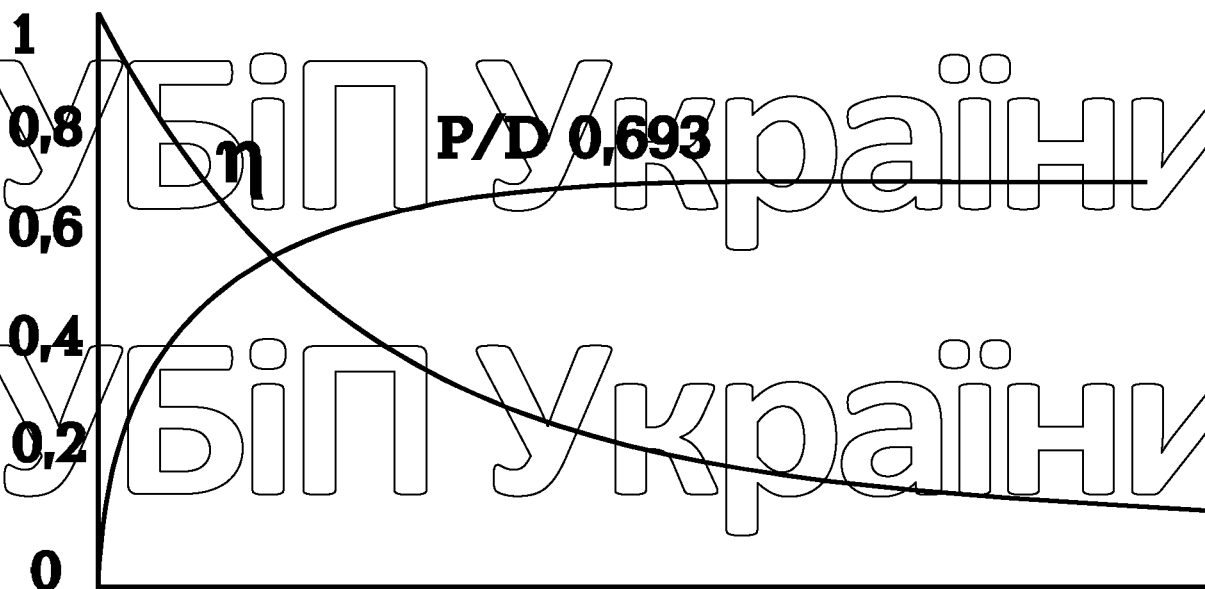
НУБІП України

НУБІП України

Рис. 1.2. Залежність ККД фотопроцесу від опромінення

Таким чином, в опромінювальних установках варто ринутися до оптимального (відносно низького) рівню опромінення, а також здійснювати періодичну подачу світлової енергії рослин. У цьому зв'язку варто вивчити періодичні режими опромінення рослин і проаналізувати їхній вплив на останні.

1.5 Огляд засобів і установок для створення періодичного режиму опромінення рослин



1 2 3 4 СЕ  
Роботами Кістєня Г.Е., Герасимчука Ю.В., Скрипника М.М., Шабали С.М., Шевченка І.О., Маслєброда С.М., Третьякова М.М. доведена перспективність застосування в спорудженнях захищеного ґрунту додаткового освітлення в імпульсному режимі, що дозволяє інтенсифікувати процеси фотосинтезу в рослинах.

У роботах Лемана В.М., Мошкова Б.С., Молчанова О.Г. відзначений позитивний вплив перемінного опромінення на накопичення сухої речовини і більш енергійне проходження фізіологічних процесів у розсади огірків, так наприклад: інтенсивність фотосинтезу зростала в 2-3 рази, а утримання хлорофілу в 1,5-2 разів.

Фотосинтетичні впливи характеризуються фізіологічною або фотосинтетичною активною радіацією (ФАР), яка складає приблизно половину від інтегральної радіації. Ці випромінювання мають довжину хвилі від 380 до 710 нм.

При цьому для нормального розвитку рослин необхідно витримувати певні співвідношення між різними ділянками спектру.

Інфрачервона радіація з довжиною хвилі більше 1000 нм визначає температурний режим рослин. При температурі оточуючого середовища до 20 °С її роль позитивна, більше 30 °С - негативна [8].

Це пояснюється біоенергетичною спрямованістю всіх організмів, яка полягає в

самостійному прагненні до стану, що забезпечує найбільш повне використання у існуючих умовах вільної (доступної) енергії.

При вирощуванні рослин, освітленість та температурні режими взаємопов'язані, кожному значенню фітоопроміненості відповідає визначений температурний оптимум фотосинтезу, тому для споруд захищеного ґрунту потрібне узгодження температури з рівнем освітленості. Отримано емпіричні вирази, у відповідності з якими в залежності від фіто- та теплової опроміненості необхідно регулювати температуру, що дозволяє на 50% та більше підвищити інтенсивність фотосинтезу, а відповідно, і врожайність. При цьому, оптимальна температура повітря, при опромінюванні рослин джерелами з різним спектральним складом, неоднакова. Окрім того, режими фіто- та теплової опроміненості необхідно узгоджувати і з відносною вологістю повітря. Відхилення температури повітря на 4...5 °С від оптимальної призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу на 20% та більше. Температура повітря в теплицях повинна відповідати освітленості і при відсутності додаткового освітлення. Від рівня природної опроміненості залежать також і режими поливу.

Для визначення умов отримання максимальної врожайності пропонується використовувати узагальнений біоенергетичний критерій, який враховує фітоопроміненість, а також тривалість та інтенсивність впливу на рослини.

Розроблені методики оцінки впливу оптичного випромінювання на рослини і визначення температурного оптимуму фотосинтезу рослин. Виходячи з аналізу біоелектричної реакції листа рослини на зміну умов освітленості, отримано передаточну функцію рослини. Це є передумовою створення автоматизованих систем регулювання режимів роботи теплиць, що дозволяють отримати максимальну швидкість фотосинтезу.

Додаткове освітлення в спорудах захищеного ґрунту, на відміну від умов ланів, зокрема в імпульсному режимі, дозволяє інтенсифікувати процеси фотосинтезу.

При імпульсному опромінюванні рослин з'являється можливість погодження режимів освітлення з потребами рослин. Процеси поглинання енергії та її засвоєння в фотосинтетичних процесах біосинтезу характеризуються різними постійними часу. Вивчення таких процесів призвело до створення способів та установок для імпульсного опромінювання рослин в спорудах захищеного ґрунту.

Швидкість фотосинтезу під час імпульсного опромінювання рослин залежить як від факторів зовнішнього середовища (температура, опроміненість, концентрація CO<sub>2</sub> та інші), виду рослин, етапів їх онтогенетичного розвитку, так і від параметрів імпульсних режимів.

Інтенсифікація процесу фотосинтезу при імпульсному опромінюванні пояснюється тим, що під час темнових пауз утворюється надлишок акцептора CO<sub>2</sub> - рибунозо-5-фосфата (Р5Ф). В періоди впливу імпульсів опромінювання відбувається синтез аденозінтрифосфата (АТФ) та нікотинамідінуклеотидфосфата (НАДФ. Н.). Наявність надлишку Р5Ф призводить до того, що швидкість утворення акцептора CO<sub>2</sub> - рибунозодифосфата (РДФ) різко зростає.

Вплив режимів імпульсного опромінювання на ефективність фотосинтезу, а в кінцевому підсумку на підвищення врожайності та зниження енергосемності, залишається недостатньо вивченим. Тому, при дослідженнях імпульсних режимів

освітленості необхідно обґрунтовувати не тільки її інтегральний показник, а також і форму імпульсу, максимальний і мінімальний рівень опроміненості, тривалість серії імпульсів, тривалість пауз між серіями імпульсів, загальну тривалість роботи опромінювачів за час доби в залежності від фази розвитку рослин. При цьому для кожного виду рослин ці показники будуть мати свої індивідуальні особливості. Реалізація таких режимів потребує вибору відповідних джерел випромінювання.

В якості штучних джерел оптичного випромінювання в спорудах захищеного ґрунту можуть використовуватися лампи розжарювання, газорозрядні лампи та дугові світильники.

Газорозрядні лампи поділяються на лампи низького, високого і зверхвисокого тиску. Розряд в таких лампах відбувається в інертних газах (неон, ксенон) або в парах металів (ртуть, натрій), а також в суміші парів ртуті з іншими елементами (галієм, індієм, талієм, літієм). Джерелом випромінювання в газорозрядних лампах може бути світло, ініційоване проходженням електричного струму або ж випромінюванням люмінофора як наслідок поглинання ім ультрафіолетового випромінювання. Всі перераховані джерела мають різний спектр випромінювань та можуть бути використані в наукових дослідженнях. У виробництві найбільше розповсюдження отримали люмінесцентні (флуоресцентні) лампи, оскільки вони мають високу світловіддачу на одиницю потужності, а їх фотосинтетична функція триває довше і рівень її вище.

Для підвищення ефективності штучного опромінювання необхідно вибрати джерело, що має спектральний склад, що сприяє максимальному росту рослин, при цьому цей спектральний склад може змінюватися в залежності від фази розвитку рослини, виду рослини, продукції, що отримується (плоди, зелена маса та ін.), а також умов навколишнього середовища (вологість повітря та ґрунту, температура, газовий склад, набір живлячих речовин та мікроелементів, їх кількість).

Спектр дії фотосинтезу є достатньо вивченим для того, щоб ставити питання про створення спеціальних ламп для використання в рослинництві, які б мали більш високу, у порівнянні з існуючими, фотовіддачу.

Пристрої стабілізації спектру та потужності газорозрядних ламп дозволяють зекономити 13...15% електроенергії. Крім того, при розрахунку опроміненості у теплицях необхідно враховувати і енергію сонячної радіації.

Іншим важливим шляхом економії електроенергії при освітленні є вірний вибір режимів освітлення. Для кожної рослини, крім спектрального складу джерела опромінювання, необхідно визначати оптимальну тривалість та періодичність опромінювання у відповідності з властивими кожній рослині біоритмами.

В результаті робіт з мінімізації енерговитрат при опромінюванні газорозрядними лампами розроблені та досліджені пристрої імпульсного опромінювання та живлення на підвищеній частоті.

Експлуатаційно-технологічні аспекти переваг височастотного живлення люмінесцентних ламп такі: підвищення світлової віддачі на 10...15%, спрощення схем включення, зменшення розмірів, маси власних втрат, а у результаті і вартості пуско-регулюючої апаратури, відсутність стробоскопічного ефекту [23], зниження матеріалоемності в 1,5 рази, підвищення строку служби ламп на 25...30%, підвищення світлової віддачі на 15...20%, скорочення розходу електроенергії на 10%.

Поєднане опромінювання газорозрядними лампами високого та низького тиску

дозволяє накладати імпульси опромінювання від ламп високого тиску на постійний фон опромінювання від ламп низького тиску. Таке технічне рішення дозволяє зекономити до 30% електроенергії.

В імпульсних опромінювальних установках споруд захищеного ґрунту має сенс використовувати квазістаціонарний режим горіння ламп. В цьому режимі лампи з природним охолодженням експлуатуються з короткочасними перевантаженнями тривалістю в кілька десятих частин секунди. Після кожного циклу перевантаження відбувається перехід на мінімальний рівень, достатній для забезпечення стабільного горіння дуги, так званий черговий режим. Використання квазістаціонарного режиму горіння газорозрядних ламп високого тиску при імпульсному опромінюванні підвищує ККД опромінюючих установок. Теоретично обґрунтована можливість отримання при квазістаціонарному режимі горіння такого ж теплового режиму, як і при безперервному режимі горіння з номінальною потужністю. Експлуатаційні характеристики ламп при цьому не погіршуються. Енергетичний ККД газорозрядних ламп в квазістаціонарному режимі підвищується.

Імпульсне опромінювання дозволяє знизити витрати електроенергії в 2 рази за рахунок того, що промениста енергія подається на рослину тільки під час світлової стадії. Встановлено, що біопотенціали рослин змінюються за величиною з періодом 4...6 хвилин. Тому рекомендується діяти на рослини з такою ж періодичністю. При цьому, завдяки резонансним явищам, дія таких факторів підсилюється.

Імпульси ритмічної електричної активності рослин обумовлюються різними факторами, в тому числі і світловими потоками. При цьому, дія світла на лист супроводжується спочатку гіперполяризацією мембрани клітини, а при хімічному подразненні спочатку відбувається деполяризація мембрани. В залежності від виду подразнення інтенсифікуються або процеси дихання фотосинтезу, або кореневого живлення.

При імпульсному опромінюванні розсади огірків лампою ДРЛФ 400 з довжиною імпульсів 0,2 с, скважністю - 3, тривалістю імпульсного опромінювання 45 с, а безперервного - 60 с рослинами більш ефективно засвоюється променева енергія. При цьому витрати електроенергії знижуються на 27,6%. При опромінюванні листків рослин імпульсами в декілька десятих частин секунди швидкість фотосинтетичного поглинання  $\text{CO}_2$  підвищується в 1.3...1.8 разів.

Рекомендуються і інші режими імпульсного опромінювання, наприклад: тривалість освітлення 2 с, затемнення - 3 с, що знижує витрати електроенергії; чергування низького та високого рівнів опромінення з інтервалом у 4 години.

Для забезпечення імпульсних та періодичних режимів опромінювання використовують механічні та електричні методи. Механічні методи полягають в зміні світлового потоку за допомогою засувки, дзеркал, що обертаються, або переміщення ламп відносно рослин. При переміщенні ламп додатково забезпечується рівномірність освітлення. Електричні способи засновані на включенні джерела світла на визначений період. Вони дозволяють отримати світлові імпульси з мінімальною тривалістю у кілька мікросекунд.

Однак, при використанні газорозрядних ламп, якщо імпульси мають тривалість в десяті долі секунди та нижче, потрібен режим чергового горіння, а тому, в цьому випадку, відсутні темнові паузи.

Одною з переваг періодичного режиму опромінювання є покращання експлуатаційних характеристик технологічного обладнання, хоч при значному збільшенні капітальних витрат на пристрій для реалізації таких режимів, ця перевага нівелюється.

При модернізації ОСУ найбільш зручним є електричний спосіб, що полягає у вмиканні та вимиканні груп ламп, як найбільш надійний, і не потребує великих капітальних затрат.

Висновки до розділу

Зниження енерговитрат при електроопроміненні рослин в умовах захищеного ґрунту можна забезпечити двома шляхами: максимальним використанням керуючих впливів і оптимізацією енергетичних впливів.

Вивчення можливості максимального використання керуючих впливів призвело до висновку про те, що біоелектричні явища грають важливу роль у життєдіяльності рослинних організмів. Канини рослин, що фотосинтезують, реагують на світловий вплив зміною своїх електричних потенціалів, що тісно корелюють з основними фізіологічними характеристиками рослинного організму, що дає можливість їхнього використання для одержання інформації про стан рослини.

Ритмічна подача світла, за певних умов, робить керуючий вплив на морфологічний стан рослинного організму. Проте умови ці дуже суперечливі і підлягають детальному вивченню.

Оптимальне використання енергетичних впливів можливо при ефективному використанні джерела оптичного випромінювання, що забезпечується правильним вибором режиму опромінення: інтенсивності, періодичності, спектра.

Вплив режимів перемінного опромінення на ефективність фотосинтезу, а в кінцевому рахунку на підвищення врожайності, є перспективним, але залишається поки що недостатньо вивченим; необхідно обґрунтовувати не тільки інтегральний показник освітленості при перемінному режимі, але і максимальний і мінімальний рівень опромінення, скважність, загальну тривалість роботи опромінювачів на протязі доби в залежності від фази розвитку, крім того, для одержання максимальної ефективності використання керуючих і енергетичних впливів, необхідно розглядати рослину як об'єкт регулювання; розробляти такі енергозберігаючі алгоритми і системи регулювання, при яких забезпечується узгодження режиму з потребами рослинного організму, на підставі інформації, одержуваної від самої рослини.

Отже дослідження резонансних режимів керування життєдіяльністю рослин, розробка алгоритмів і автоматизованих систем керування з використанням рослин у якості джерела інформації про ефективність впливу на нього цих режимів, подає важливе практичне значення для розробки енерго- і ресурсозберігаючих технологій штучного опромінення рослин у теплицях.

Задачі, що вирішуються в роботі наступні:

1. Вивчення впливу світлових режимів на фізіологічний стан рослин.
2. Розробка алгоритму енергозберігаючого регулювання опромінення рослин в теплицях з використанням інформації від рослин.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН В ТЕПЛИЦІ

### 2.1. Аналіз технології вирощування розсади овочевих культур з використанням електроопромінення.

Для вирощування розсади в теплиці ТОВ «Зеленхоз» є розсадне відділення, де видержується технологія вирощування огірка, томата й інших культур.

Розсаду огірка для зимово-весняного періоду вирощують шляхом прямого посіву сухих або пророслих насінь у горшечки і кубики або з пікірвкою сіянців. Живильні кубики або горшечки розміщують стрічкою шириною 1,4 - 1,6 м по середині секції між дощувальними трубами з таким розрахунком, щоб при наступному розставлянні розсади зайняти всю площу секції. У одній півсекції теплиці з прольотом 6,4 м<sup>2</sup> площею 230 м розміщують біля 5-6 тис. горшечків.

Для кращого зберігання кореневої системи рослин при їх вирощуванні, а також для захисту її від інфекцій горшечки встановлюють на поліетиленову плівку.

У деяких тепличних господарствах розсаду огірка вирощують із пікірвкою сіянців. Для одержання сіянців насіння висівають у попередньо пропарені опілки або в проівесткований сфагновий торф. Посівні шухляди на 3/4 заповнюють опілками або сфагнованим торфом, що вирівнюють і воложать живильним розчином наступного складу:

- 17 гр - аміачної селітри;
- 60 гр - калійної селітри;
- 80 гр - простого суперфосфату;
- 30 гр - сульфату магнія;
- 100 л - води.

Потім висівають насіння з розрахунку 4 - 5 р. на посівного шухляда. Семена засипають шаром опілок або торфом товщиною 1 см, що злегка ущільнюють. Після цього шухляди покривають плівкою і ставлять на пророщення насінь.

Для одержання дружних всходів і вирівняної розсади температуру суміші в горшечках або в кубиках, а також опілок підтримують на рівні 27°C. При такій температурі сходи з'являються через дві доби. З появою єдиних всходів плівку наймають і двоє доби лампами ДНаТ-400 безупинно досвітлюють. Щоб запобігти перекрів рослин і не викликати витягування підсемядольної коліна, протягом перших чотирьох п'ятих днів температуру повітря знижують до 16...17°C. Потім її під світними лампами підтримують у межах 21...23°C. Оптимальна температура суміші в горшечках після появи всходів 20...22°C, відносна вологість повітря в період вирощування розсади 70-75%, а вологість суміші в горшечках 70-80%.

Досвітлюють розсаду опромінювачами ЖСП18-400 із лампами ДНаТ-400.

Лампи для опромінення молоді розсади огірка розташовують у два ряди на відстані 1 м. одна від іншої при висоті підвісу 0,9 м. Спочатку на 1-2 м розміщують 100-140 рослин. При даній концентрації опромінювачі досягають розмір освітленості біля 5000лк. Після сплетення рядків рослини розставляють. Розставляння - обов'язкова умова для одержання високоякісної розсади. Частіше усього її проводять через два тижні після появи повних всходів. При цьому на однім метрі квадратному

залишають 25-28 шт. рослин, а опромінювачі розташовують у чотирьох рядках при відстані між лампами по ширині 1,6 м., по довжині 2 м., а висота підвісу 1,3 м. Режим електроопромінення розсади огірка приведений у таблиці 2.

У період вирощування розсади її поливають помірно теплою водою (25-28°C), підгодівлю не проводять, харчування розсади забезпечується за рахунок основної заправки почвосуміші добривами при виготовленні горшечків або живильних кубиків.

Для поліпшення фотосинтезу застосовують підгодівлю рослин вуглекислим газом. У повітрі розсадних теплиць підтримують утримання вуглекислого газу 0,15-0,2: (по об'ємі).

Для профілактики захворювань розсаду огірка тільки, що з'явиться перший дійсний лист обробляють 0,08%-ной, а ручним висадженням 0,07-0,1%-ной суспензією фундазола (0,8 - 1 кг на 1 га). За день до посадки розсаду огірка обильно поливають теплою водою (температура 25-28°C).

Таблиця 2.1. Тривалість електроопромінення розсади

| Період вирощування         | Тривалість електроопромінення, годин | Число Діб | Питома потужність Вт/м <sup>2</sup> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| Всхід                      | 24                                   | 2-3       | 400                                 |
| Розсада до розставлення    | 16                                   | 10-12     | 400                                 |
| Розсада після розставлення | 14                                   | 10-12     | 120                                 |
| Те ж                       | 12                                   | 10-12     | 120                                 |

При виробництві розсади передбачають її резерв - 10-15 на випадок підсадження.

Розсада огірка буває готова до висадження на постійне місце через 30-35 днів після посіву. До моменту висадки вона повинна мати 5-6 листів, висоту біля 30 см. і масу 20-25 гр.

Вирощують розсаду частіше усього з пікірковкою сіянців. Насіння висівають у шухляди або на гряди, улаштовані в ґрунті теплиці. Витрата насіння для одержання сіянців 160-200 гр/га, що висівають на площі 50 м<sup>2</sup> (3-4 р/м<sup>2</sup>).

У попередньо продезинфіковані посівні шухляди насипають пронарені опилки або свіжу злегка зволожену живильну суміш шаром 6-8 см., вирівнюють і злегка воложать. Потім маркером роблять поперечні борозенки глибиною 0,5 см. на відстані 2-2,5 см одна від іншої і висівають насіння з розрахунку 1,1-1,5 гр. на шухляду.

Після посіву насіння занурюють опилками або ґрунтовою сумішшю. При вирощуванні сіянців в опилках їх воложать живильним розчином аналогічного складу, які при вирощуванні сіянців огірка.

Дражировані сіянці можна сіяти прямо в горшечки або в торф'яні кубики, що встановлюють по середині прольоту теплиці на ґрунт. Ширина гряди 1,6 м довжина

біля 30 м. Після посіву, гряди або посівні шухляди вкривають поліетиленовою плівкою.

До появи всходів температуру суміші підтримують на рівні 23-25°C. При посіві добре пророслими насіннями томат всходить на п'ятий-шостий день. Більш пізня поява всходів указує на несприятливі умови в теплиці.

Тільки з'явиться одиничних всходів плівку наймають і включають лампи для досвечування рослин. Сіянци протягом перших двох-трьох днів досвітлюють цілодобово, при цьому знижують температуру повітря до 13-15°C щоб не допустити витягування рослин.

Лампи при вирощуванні розсади томата встановлюють так само, як і при вирощуванні розсади огірка. Режим електроосвітлення розсади томата приведений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. - Тривалість електроопромінення розсади томата.

| Період вирощування         | Тривалість, година. | Число днів | Щільність потужність Вт/м <sup>2</sup> |
|----------------------------|---------------------|------------|--|
| Сход                       | 24                  | 2-3        | 400                                    |
| Сіянци                     | 16                  | 10-12      | 400                                    |
| Розсада до розставлення    | 16                  | 12-15      | 400                                    |
| Розсада після розставлення | 14                  | 20-30      | 120                                    |

Розсада томата вимоглива до світла. Чим більше ФАР одержить вона, тим скоріше починається плодоносіння. Для вирощування розсади мінімальна освітленість повинна бути не менше 8000лк.

З утворенням першої пари дійсних листів, через 14-15 днів після появи всходів, сіянці пікірують у торф'яні кубики 8\*8\*8см. Найкраща якість розсади, особливо для одержання раннього врожаю, спостерігається при вирощуванні її в горшечках об'ємом 2л.

При пікіровці проводять пинцировку, тобто видаляють кончик головного кореня для одержання мочковатій кореневої системи.

За 3-4 дні до пікіровки проти вірусу тютюнової мозаики (ВТМ) сіянці томата оброблюють ослабленим штаммом ВТМ. Якщо немає можливості провести вакцинацію розсади, її перед пікірною обробляють 10%-ним молочними відв'яками (знежирене молоко), потім один раз у тиждень і обов'язково за добу до посадки. З цієї ціллю за 5-7 днів до посадки проводять некорневу підгодівлю рослин 0,01%-ним розчином борної кислоти (витрата розчину 30-40 л. на 1000 м<sup>2</sup>).

При недостатньому освітленні і підвищеній температурі розсада сильно витягається, що приводить до різкого ослаблення рослин. Тому необхідно стежити за режимом температури повітря і розсадного ґрунту. Вдень у сонячну погоду температура підтримується в межах 20-21°C, у похмуру 18-19°C і вночі 16-18°C. У розсадних відділеннях включають підґрунтовий обігрів із тим щоб температура

розсадного ґрунту не знижувалася нижче 18°C. Оптимальна відносна вологість повітря 60-70%, вологість розсадного ґрунту 75-80%НВ, концентрація вуглекислого газу 0,15-0,2%.

Важливий момент агротехніки розсади томата - своєчасне розставлення її на великі відстані, що проводять у міру росту рослин. Розсаду поміщають по 5-7 шт. у шухляду, проміжки між кубиками заповнюють розсадною сумішшю. Розставлення здійснюють через 27-30 днів після появи всходів. На однім квадратному метрі розміщують 25-28 рослин.

Рослини поливають помірковано, підгодівлю не проводять, живлення забезпечується за рахунок основної заправки суміші в горшечках. Перед висадженням рослини з ознаками захворювання, а також обильно утворюючі пасинки вибраковують. Потім розсаду добре поливають через систему дощування.

Готова до висадження 50-55 денна розсада повинна мати 8-9 листів, висоту біля 30 см., сформовану перший квітковий пензель і потужну кореневу систему.

Вище була описана технологія вирощування розсади огірка і томата в зимово-весняний період. У розсадних відділеннях можна вирощувати й інші лантух тури, такі як кавуни і дині, перець і баклажани, білокочанну капусту й інші.

Режим вирощування розсади для закритого ґрунту приведений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Режим вирощування розсади для закритого ґрунту

| Показник  | Огірок | Томат  | Кавуни і диня | Перець і баклаж. |
|---|--------|--------|---------------|------------------|
| Температура розсадного ґрунту до появи всходів, °С.           | 27     | 23..25 | 27..30        | 25..28           |
| Температура ґрунту після появи всходів, °С.                   | 20..22 | 16..18 | 22..25        | 22..24           |
| Температура повітря в перші 4-5 днів після появи всходів, °С. | 16..17 | 13..15 | 16..18        | 17..19           |
| Температура повітря в наступний період, °С:                   |        |        |               |                  |
| Сонячна погода  | 21..23 | 20..21 | 22..26        | 22..25           |
| Похмура погода  | 19..20 | 18..19 | 20..21        | 18..19           |
| Вночі   | 20     | 16..18 | 19..20        | 19..20           |
| Відносна вологість повітря, %                                 | 70..75 | 60..70 | 50..60        | 60..70           |
| Концентрація вуглекислого газу в повітрі, %: по об'ємі        | 0,15   | 0,15   | 0,15          | 0,15             |

## 2.2 Вибір та розгляд прийнятої технології періодичного опромінення

рослин

Роботами Кістєня Г.Е., Герасимчука Ю.В., Скрипника М.М., Шабали С.М., Шевченка І.О., Маслоброда С.М., Третьякова М.М. доведена перспективність застосування в спорудженнях захищеного ґрунту додаткового освітлення в імпульсному режимі, що дозволяє інтенсифікувати процеси фотосинтезу в рослинах.

У роботах Лемана В.М., Мошкова Б.С., Молчанова О.Г. відзначений позитивний вплив перемінного опромінення на накопичення сухої речовини і більш енергійне проходження фізіологічних процесів у розсаді огірків, так наприклад: інтенсивність фотосинтезу зростала в 2-3 рази, а вміст хлорофілу в 1,5-2 разів.

Фотосинтетичні впливи характеризуються фізіологічною або фотосинтетичною активною радіацією (ФАР), яка складає приблизно половину від інтегральної радіації. Ці випромінювання мають довжину хвилі від 380 до 710 нм..

При цьому для нормального розвитку рослин необхідно витримувати певні співвідношення між різними ділянками спектру.

Інфрачервона радіація з довжиною хвилі більше 1000 нм визначає температурний режим рослин. При температурі оточуючого середовища до 20 °С її роль позитивна, більше 30 °С - негативна [8].

Це пояснюється біоенергетичною спрямованістю всіх організмів, яка полягає в самостійному прагненні до стану, що забезпечує найбільш повне використання у існуючих умовах вільної (доступної) енергії.

При вирощуванні рослин, освітленість та температурні режими взаємопов'язані, кожному значенню фітоопроміненості відповідає визначений температурний оптимум фотосинтезу, тому для споруд захищеного ґрунту потрібне узгодження температури з рівнем освітленості. Отримано емпіричні вирази, у відповідності з якими в залежності від фіто- та теплової опроміненості необхідно регулювати температуру, що дозволяє на 50% та більше підвищити інтенсивність фотосинтезу, а відповідно, і врожайність. При цьому, оптимальна температура повітря, при опромінюванні рослин джерелами з різним спектральним складом, неоднакова. Окрім того, режими фіто- та теплової опроміненості необхідно узгоджувати і з відносною вологістю повітря. Вдихлення температури повітря на 4...5 °С від оптимальної призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу на 20% та більше. Температура повітря в теплицях повинна відповідати освітленості і при відсутності додаткового освітлення. Від рівня природної опроміненості залежать також і режими поливу.

Для визначення умов отримання максимальної врожайності пропонується використовувати узагальнений біоенергетичний критерій, який враховує фітоопроміненість, а також тривалість та інтенсивність впливу на рослини.

Розроблені методики оцінки впливу оптичного випромінювання на рослини і визначення температурного оптимуму фотосинтезу рослин. Виходячи з аналізу біоелектричної реакції листа рослини на зміну умов освітленості, отримано передаточну функцію рослини. Це є передумовою створення автоматизованих систем регулювання режимів роботи теплиць, що дозволяють отримати максимальну швидкість фотосинтезу.

Додаткове освітлення в спорудах захищеного ґрунту, на відміну від умов ланів,

зокрема в імпульсному режимі, дозволяє інтенсифікувати процеси фотосинтезу.

При штучному опромінюванні рослин з'являється можливість погодження режимів освітлення з потребами рослин. Процеси поглинання енергії та її засвоєння в фотосинтетичних процесах біосинтезу характеризуються різними постійними часу. Вивчення таких процесів призвело до створення способів та установок для імпульсного опромінювання рослин в спорудах захищеного ґрунту.

Швидкість фотосинтезу під час імпульсного опромінювання рослин залежить як від факторів зовнішнього середовища (температура, опроміненість, концентрація  $\text{CO}_2$  та інші), виду рослин, етапів їх онтогенетичного розвитку, так і від параметрів імпульсних режимів.

Інтенсифікація процесу фотосинтезу при імпульсному опромінюванні пояснюється тим, що під час темнових пауз утворюється надлишок акцептора  $\text{CO}_2$  - рібунозо-5-фосфата (Р5Ф). В періоди впливу імпульсів опромінювання відбувається синтез аденозінтрифосфата (АТФ) та нікотинамідінуклеотидфосфата (НАДФ. Н.). Наявність надлишку Р5Ф призводить до того, що швидкість утворення акцептора  $\text{CO}_2$  - рібунозодіфосфата (РДФ) різко зростає.

Вплив режимів імпульсного опромінювання на ефективність фотосинтезу, а в кінцевому підсумку на підвищення врожайності та зниження енергоємності, залишається недостатньо вивченим. Тому, при дослідженнях імпульсних режимів освітленості необхідно обґрунтовувати не тільки її інтегральний показник, а також і форму імпульсу, максимальний і мінімальний рівень опроміненості, тривалість серії імпульсів, тривалість пауз між серіями імпульсів, загальну тривалість роботи опромінювачів за час доби в залежності від фази розвитку рослин. При цьому для кожного виду рослин ці показники будуть мати свої індивідуальні особливості. Реалізація таких режимів потребує вибору відповідних джерел випромінювання.

В якості штучних джерел оптичного випромінювання в спорудах захищеного ґрунту можуть використовуватися: лампи розжарювання, газорозрядні лампи та дугові світильники.

Газорозрядні лампи поділяються на лампи низького, високого і зверхвисокого тиску. Розряд в таких лампах відбувається в інертних газах (неон, ксенон) або в парах металів (ртуть, натрій), а також в суміші парів ртуті з іншими елементами (галієм, індієм, талієм, літієм). Джерелом випромінювання в газорозрядних лампах може бути світло, ініційоване проходженням електричного струму або ж випромінюванням люмінофора як наслідок поглинання їм ультрафіолетового випромінювання. Всі перераховані джерела мають різний спектр випромінень та можуть бути використані в наукових дослідженнях. У виробництві найбільше розповсюдження отримали люмінесцентні (флуоресцентні) лампи, оскільки вони мають високу світловіддачу на одиницю потужності, а їх фотосинтетична функція триває довше і рівень її вище.

Для підвищення ефективності штучного опромінювання необхідно вибрати джерело, що має спектральний склад, що сприяє максимальному росту рослин, при цьому цей спектральний склад може змінюватися в залежності від фази розвитку рослини, виду рослини, продукції, що отримується (плоди, зелена маса та ін.), а також умов навколишнього середовища (вологість повітря та ґрунту, температура, газовий склад, набір живлячих речовин та мікроелементів, їх кількість).

Спектр дії фотосинтезу є достатньо вивченим для того, щоб ставити питання

про створення спеціальних ламп для використання в рослинництві, які б мали більш високу, у порівнянні з існуючими, фотовіддачу.

Пристрої стабілізації спектру та потужності газорозрядних ламп дозволяють зекономити 13...15% електроенергії. Крім того, при розрахунку опроміненості у теплицях необхідно враховувати і енергію сонячної радіації.

Іншим важливим шляхом економії електроенергії при освітленні є вірний вибір режимів освітлення. Для кожної рослини, крім спектрального складу джерела опромінювання, необхідно визначати оптимальну тривалість та періодичність опромінювання у відповідності з властивими кожній рослині біоритмами.

В результаті робіт з мінімізації енерговитрат при опромінюванні газорозрядними лампами розроблені та досліджені пристрої імпульсного опромінювання та живлення на підвищеній частоті.

Експлуатаційно-технологічні аспекти переваг височастотного живлення люмінесцентних ламп такі: підвищення світлової віддачі на 10...15%, спрощення схем включення, зменшення розмірів, маси власних втрат, а у результаті і вартості пуско-регулюючої апаратури, відсутність стробоскопічного ефекту [23], зниження матеріалоемності в 1,5 рази, підвищення строку служби ламп на 25...30%, підвищення світлової віддачі на 15...20%, скорочення розходу електроенергії на 10%.

Поєднане опромінювання газорозрядними лампами високого та низького тиску дозволяє накладати імпульси опромінювання від ламп високого тиску на постійний фон опромінювання від ламп низького тиску. Таке технічне рішення дозволяє зекономити до 30% електроенергії.

В імпульсних опромінювальних установках споруд захищеного ґрунту має сенс використовувати квазістаціонарний режим горіння ламп. В цьому режимі лампи з природним охолодженням експлуатуються з короткочасними перевантаженнями тривалістю в кілька десятих частин секунди. Після кожного циклу перевантаження відбувається перехід на мінімальний рівень, достатній для забезпечення стабільного горіння дуги, так званий черговий режим. Використання квазістаціонарного режиму горіння газорозрядних ламп високого тиску при імпульсному опромінюванні підвищує ККД опромінюючих установок. Теоретично обґрунтована можливість отримання при квазістаціонарному режимі горіння такого ж теплового режиму, як і при безперервному режимі горіння з номінальною потужністю. Експлуатаційні характеристики ламп при цьому не погіршуються. Енергетичний ККД газорозрядних ламп в квазістаціонарному режимі підвищується.

Імпульсне опромінювання дозволяє знизити витрати електроенергії в 2 рази за рахунок того, що промениста енергія подається на рослину тільки під час світлової стадії. Встановлено, що біопотенціали рослин змінюються за величиною з періодом 4...6 хвилин. Тому рекомендується діяти на рослини з такою ж періодичністю. При цьому, завдяки резонансним явищам, дія таких факторів підсилюється.

Імпульси ритмічної електричної активності рослин обумовлюються різними факторами, в тому числі і світловими потоками. При цьому, дія світла на лист супроводжується спочатку гіперполяризацією мембрани клітини, а при хімічному подразненні спочатку відбувається деполіаризація мембрани. В залежності від виду подразнення інтенсифікуються або процеси дихання-фотосинтезу, або кореневого живлення.

При імпульсному опромінюванні розсади огірків лампою ДРЛФ 400 з довжиною імпульсів 0,2 с, скважністю - 3, тривалістю циклів імпульсного опромінювання 45 с, а безперервного - 60 с рослинами більш ефективно засвоюється променева енергія. При цьому витрати електроенергії знижуються на 27,6%. При опромінюванні листків рослин імпульсами в декілька десятих частин секунди швидкість фотосинтетичного поглинання  $CO_2$  підвищується в 1,3...1,8 разів.

Рекомендуються і інші режими імпульсного опромінювання, наприклад: тривалість освітлення 2 с, затемнення - 3 с, що знижує витрати електроенергії; чергування низького та високого рівнів опромінення з інтервалом у 4 години.

Для забезпечення імпульсних та періодичних режимів опромінювання використовують механічні та електричні методи, рис.1.3. Механічні методи полягають в зміні світлового потоку за допомогою засувки, дзеркал, що обертаються, або переміщення ламп відносно рослин. При переміщенні ламп додатково забезпечується рівномірність освітлення. Електричні способи засновані на включенні джерела світла на визначений період. Вони дозволяють отримати світлові імпульси з мінімальною тривалістю у кілька мікросекунд.

Однак, при використанні газорозрядних ламп, якщо імпульси мають тривалість в десятки долі секунди та нижче, потрібен режим чергового горіння, а тому, в цьому випадку, відсутні темнові паузи.

Одною з переваг періодичного режиму опромінювання є покращання експлуатаційних характеристик технологічного обладнання, хоч при значному збільшенні капітальних витрат на пристрій для реалізації таких режимів, ця перевага нівелюється.

При модернізації ОСУ найбільш зручним є електричний спосіб, що полягає у вмиканні та вимиканні груп ламп, як найбільш надійний, і не потребує великих капітальних затрат.

## 2.3 Формулювання загальної задачі роботи

Вирощування розсади овочевих культур в умовах захищеного ґрунту економічно вигідне тільки при додатковому штучному опроміненні. Однак в цьому випадку біля половини собівартості розсади припадає на електроенергію, а це в умовах постійного зростання вартості енергоресурсів визначає необхідність її економії.

Розробка більш досконалих режимів опромінення - один з перспективних напрямків зниження витрат електроенергії в світлокультурі захищеного ґрунту.

Найбільш легко ця задача вирішується в спорудах захищеного ґрунту шляхом інтенсифікації процесів фотосинтезу за допомогою імпульсного досвічування, особливо, в резонансно-періодичних режимах з використанням інформації від рослин.

Тому дослідження й обґрунтування параметрів резонансно-періодичних режимів штучного опромінення рослин, розробка засобів і приладів для реалізації таких режимів є одним з перспективних напрямків зниження витрат електроенергії в світлокультурі захищеного ґрунту.

### 3. РОЗРОБКА РЕЖИМІВ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО РЕГУЛЮВАННЯ ОПРОМІНЕННЯМ РОЗСАДИ

#### 3.1. Визначення параметрів об'єкта автоматизації

Ритмічна зміна освітленості викликає коливання іонного обміну в клітинах і призводить до періодичних скорочень продихової апертури, у результаті чого спостерігаються коливання інтенсивності транспірації і, як слідство, періодичні зміни температури листа і діаметра стебла. У свою чергу, ритмічний характер роботи устячок обумовлює періодичний характер фотосинтезу. Періодичність процесів фотосинтезу і динаміки продихового апарата знаходить свій відбиток у виникненні коливань розміру поверхневих біопотенціалів. Виникаючий ритмічний характер поглинання і пересування води обумовлює виникнення ритмічного характеру ростової активності.

Таким чином, в умовах ритмічної зміни освітленості в рослинному організмі встановлюється періодичний характер зміни фізіологічних процесів. Опроміненість, що змінюється, виступає як чинник синхронізації і забезпечує узгодженість їхніх змін.

Побудову залежності амплітуди і фази екзогенних коливань від частоти чинника, що збуджує, здійснювали таким чином: рослини протягом визначеного проміжку часу піддавалися ритмічному світловому впливу з частотою  $\omega$ , (освітленість у досліді дорівнювала  $E$  фіксов.) Після закінчення перехідного процесу і встановлення стабільних коливань визначали їхню амплітуду, слідом за чим, не змінюючи освітленості, змінювали частоту світлового впливу і т.д., тестуючи в такий спосіб рослини в усьому досліджуваному діапазоні частот.

Безпосереднє вивчення світлоіндуційованих коливань біопотенціалів (СКБЕП) показало, що вони є істотно нелінійними. Внаслідок цього було дуже скрутним пряме визначення розміру їхньої амплітуди. У цих цілях нами використовувався наближений метод, заснований на заміні дійсних несинусоїдальних кривих еквівалентними їм синусоидами (метод еквівалентних синусоїд).

НУБІП України

НУБІП України

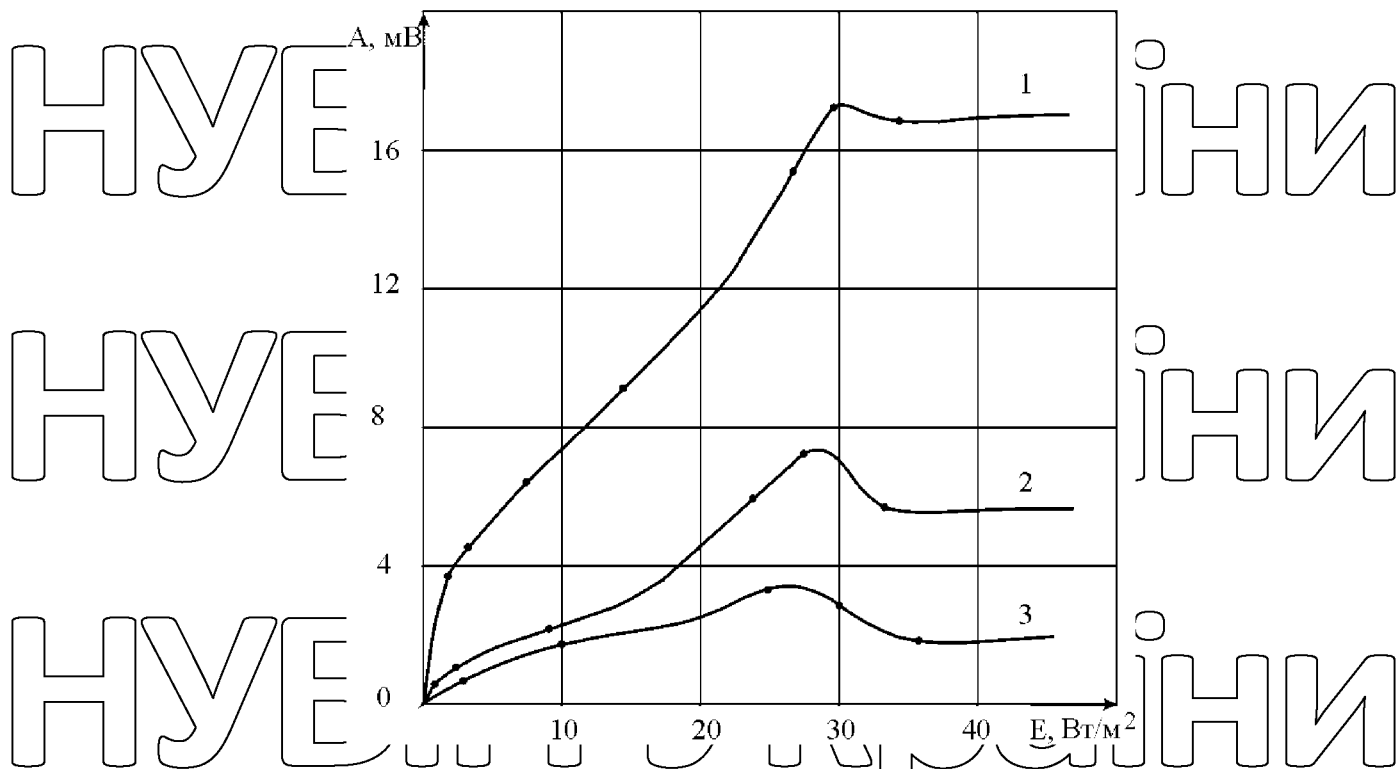


Рис. 3.1 Залежність амплітуди світлоіндуційованих коливань БЕП рослин огірків від розміру опромінення.

1 - 20 днів, ; 2 - 13 днів; 3 - 6 днів.

Відповідно до цього методу, амплітуда еквівалентної синусоїди визначалася по формулі:

$$A_E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}, \quad (3.1)$$

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

Обчислення розміру  $A_E$  здійснювали на ЕОМ "Рентум 233 MMX" по стандартній програмі.

Вивчення зв'язку частотної залежності БЕП з іншими досліджуваними фізіологічними параметрами (інтенсивність фотосинтезу, швидкість водяного потоку, зміна діаметра стебла, температура листа) показало, що для всіх досліджуваних параметрів існує загальна частота світлового впливу, на якому спостерігається максимальна амплітуда результуючого відгуку.

На рис. 3.2 подані частотні характеристики світлоіндуційованих коливань інтенсивності газообміну (коливання концентрації  $CO_2$ ) і сполученого з ним БЕП у гібрида "Сандра" у віці 14 днів.

Динаміка інтенсивності газообміну визначалася по описаній вище методиці. Площа листової поверхні в асиміляційній камері, складала  $13,5 \text{ см}^2$ , швидкість прокачування повітря -  $35 \text{ л/г}$ . По осі ординат зліва відкладена амплітуда коливань БЕП (мВ), справа

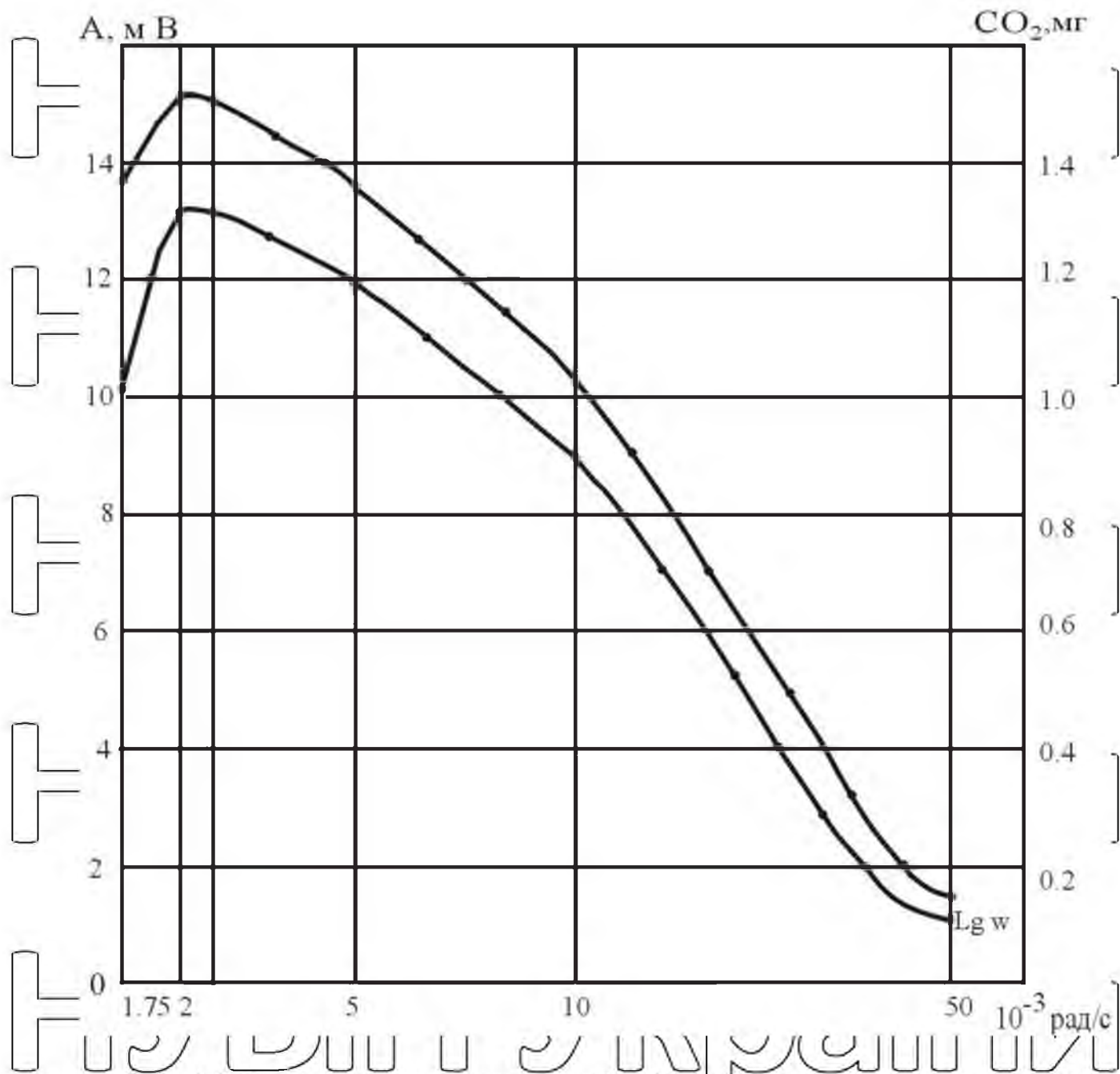


Рис. 3.2 Частотні характеристики світлоіндуційованих коливань концентрації CO<sub>2</sub> і БЕП.

НУБІП України

НУБІП України

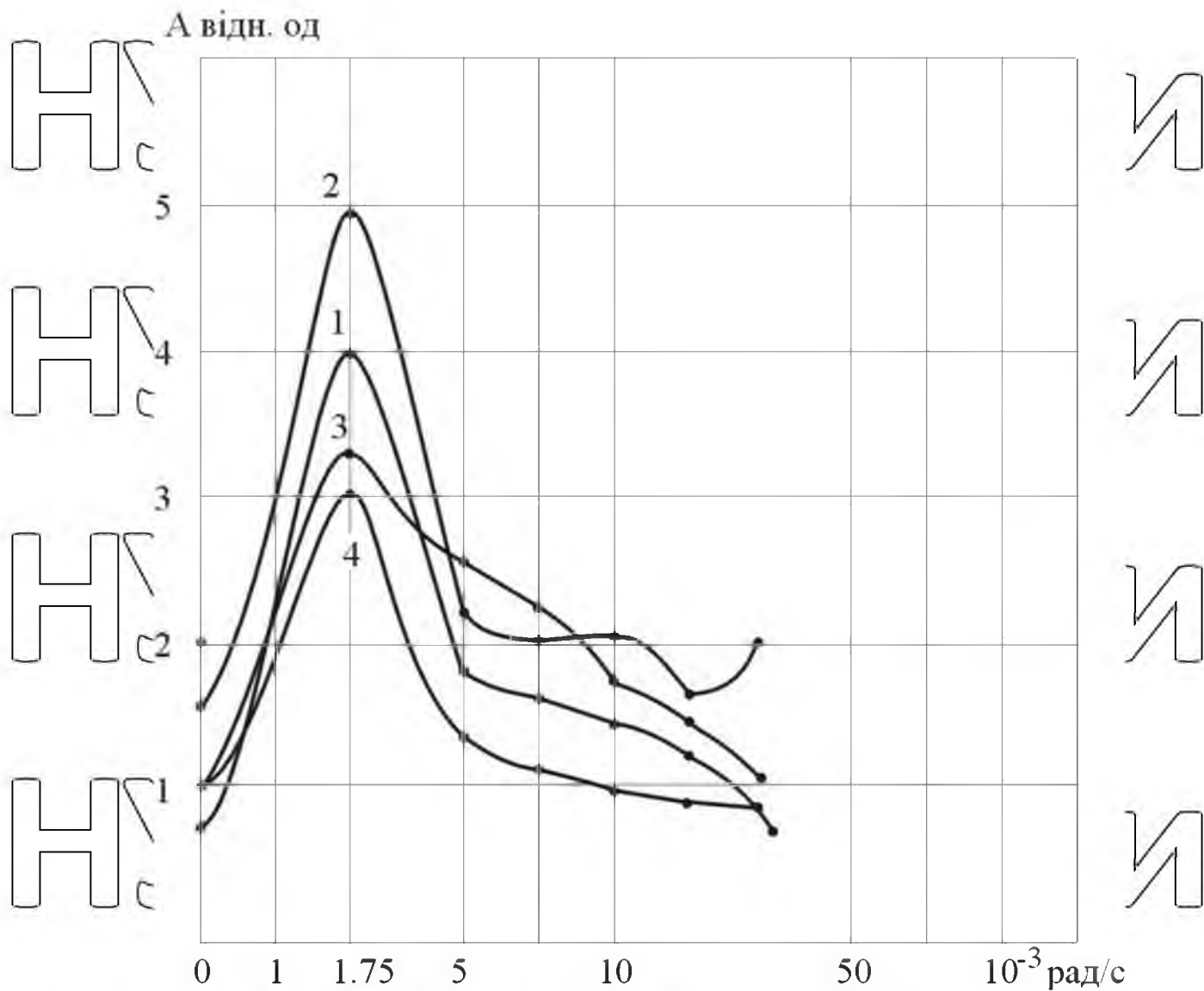


Рис. 3.3. Залежність амплітуди світлоіндуційованих коливань від частоти зміни опромінення.

- 1 - біопотенціал;
- 2 - температура листа;
- 3 - інтенсивність водяного потоку;
- 4 - діаметр стебла.

- зміна концентрації  $CO_2$  ( $10^{-3}$  %).

Очевидно, що залежність амплітуди коливань БЕП від частоти для обох досліджуваних параметрів має якісно подібний характер в усьому досліджуваному діапазоні частот. Максимальна амплітуда коливань біопотенціалу, і інтенсивності фотосинтезу спостерігається на частоті  $(=0,00175 \text{ рад/с})$  (період  $T=60$  хв).

Максимальна амплітуда зміни фізіологічних параметрів відзначається в тому випадку, коли частота зовнішнього чинника, що збуджує, збігається з власною частотою протікання фізіологічних процесів, що обумовлюють їхню зміну. Ця амплітуда завжди кінцева, оскільки, як і в будь-якій реальній системі, у листі відбуваються необоротні втрати частини світлової енергії (накше каучуки її дисипація). Подальша зміна періоду світлових коливань, тобто відхід від резонансної

частоти, призводить до поступового зменшення амплітуди світлоіндуційованих коливань.

Збіг частоти, що обумовлює максимальну амплітуду світлоіндуційованих коливань БЕП і інтенсивності фотосинтезу свідчить про збіг швидкостей протікання фізіологічних процесів, що обумовлюють їхню зміну. Аналогічні результати були отримані і при вивченні зв'язку світлоіндуційованих коливань БЕП із параметрами водяного обміну рослин.

Об'єктами досліджень були рослини огірків (сорт ТСХ-77) у віці 17 днів. Вивчення залежності амплітуди світлоіндуційованих коливань швидкості водяного потоку, діаметра стебла і розмірів БЕП, рис. 3.3, також показало існування загальної частоти збуджуючого чинника ( $T=60$  хв), на якій спостерігається максимальна амплітуда їхньої зміни.

Аналіз отриманих результатів дозволяє укласти, що в основі ефектів, що спостерігаються, лежить резонансна активація продигових рухів. При наближенні частоти зміни опромінення, до власної частоти коливань устячок (по літературним даним - від 15 до 60 хв) - амплітуда зміни їхньої апертури досягає максимального значення. У результаті відзначається різке посилення транспирації (крива 2 на рис. 3.3) і швидкості надходження води в лист (крива 3 на рис. 3.3), що обумовлює коливання діаметра стебла внаслідок радіального транспорту води із судів ксилеми (крива 4 на рис. 3.3). Режим резонансної активації продигових скорочень призводить до максимального поглинання  $CO_2$  і, отже, обумовлює резонансну активацію фотосинтетичного апарату. У результаті максимальної активації фотосинтезу і коливання продигової апертури спостерігається різке посилення амплітуди світлоіндуційованих коливань БЕП на даній частоті.

Очевидно, що результуюча залежність амплітуди коливань БЕП від частоти світлового впливу можна уявити у виді суми трьох компонент рис. 3.4. Перша з них (максимум відповідає періоду  $T=60$  хв), як відзначалося раніше, обумовлена особливостями продигової регуляції фотосинтезу. Наявність двох інших компонент ( $T=10$  хв і  $T=1,5$  хв відповідно) не пов'язано з особливостями продигової регуляції й обумовлені, очевидно, іншими внутрішньоклітинними процесами.

Таким чином, існує загальна частота зміни опроміненості ( $\omega=0,00175$ ), що збігаючись із частотою внутрішніх коливань рослини, активізує основні фізіологічні процеси рослинного організму.

### 3.2 Вибір технічних засобів для отримання інформації від рослин

Найбільш інформативним показником фізіологічного стану рослин є її біоелектричний потенціал. Біологічні об'єкти мають електричні властивості, пов'язані з поляризацією клітинних мембранних структур, що одночасно взаємодіють у процесі метаболізму. Поляризація клітин призводить до виникнення біоелектричного потенціалу (БЕП).

Відповідно до існуючої класифікації, БЕП ідрозділяють на чотири групи: потенціали спочинку, або мембранні потенціали, що визначають електрофізіологічні властивості рослинного організму в стані фізіологічного спочинку і являючи собою різницю потенціалів між живою структурою і

навоколишнім середовищем; демаркаційні потенціали - з'являються між пошкодженими ділянками рослинної тканини та інтактною поверхнею;

- метаболічні потенціали - різниця між потенціалами спочинку окремих структур;
- електрокінетичні потенціали - виникають у провідних тканинах рослин на межі поділу двох фаз.

Всі технічні засоби для виміру електрофізіологічних характеристик цілісної рослини засновано на двох принципах:

- вимір різниці біоелектричних потенціалів БЕП і перехідних процесів БЕР при дії різких впливів, що обурюють;
- визначення електричного опору (імпедансу) живої рослинної тканини.

У роботах проведений порівняльний аналіз розроблених датчиків для виміру біоелектричних потенціалів. Встановлено, що розходження між датчиками пов'язані тільки з розміром нестандартної ЕРС поляризації і ступенем об'єкт-приборної взаємодії, що накладає обмеження на тривалість безупинного експерименту.

Аналіз літературних даних показує, що найбільше оптимальним із погляду поміжостійкості є поділ вхідних і вихідних каскадів перетворення різниці потенціалів, що нормують.

У зв'язку з цим, для контролю БЕП у наших експериментальних дослідженнях використовувався перетворювач БЕП листа рослини, розроблений Інститутом фізіології рослин і генетики АН України.

Перетворювач БЕП-1, призначений для визначення різниці потенціалів на поверхні інтактноі рослини за допомогою контактних рідинних або твердотільних графітових електродів. Для дослідницьких цілей найбільш зручним є стандартний рідинний хлорсрібний електрод типу ЕВЛМ-1МЗ із насадженою на його корпус гнучкою трубкою діаметром 2мм, заповненою хлор-аргоновим гелем на розчині КСІ  $10^{-3}$ м. Для запобігання пересихання кінчика трубки в її було встановлено капіляр, що з'єднується з резервуаром води. Завдяки високій гнучкості трубки її можна підносити і фіксувати в будь-якій точці досліджуваної рослини.

Датчик підносили до листа або іншої частини поверхні рослини, що вегетує. Другий електрод занурювали у ґрунт поблизу кореневої системи. Індиферентний хлорсрібний електрод (ЕВЛМ-1МЗ) готували у такий спосіб: промивали електрод дисцильованою водою і заливають насиченим розчином КСІ, закривали отвір для заливання пробкою і піддавали електрод трьом циклам витримки в киплячій воді й у воді з кімнатною температурою по 15 хвилин. Електрод занурювали у воду на 60-70 мм. Виміри робили після попереднього прогріву приладу й адаптації електродів у плинні 10-15 хв. Відлік показань робили після встановлення стабільних показань, час якого залежить від постійної часу входу (біля 3 хв.)

Після підготування, електроди під'єднують до вхідного рознімання "вхід" вимірювального перетворювача, для реєстрації поточного стану підключають самопис. Самопис приєднували до рознімань "реєстратор" на задній панелі; зондовий датчик підводили до біооб'єкту, а електрод ЕВЛ-1МЗ (затискач) електрично з'єднували із біооб'єктом. Потім вмикали вимірювальний перетворювач натисканням кнопки вкл/викл; ручкою «калібрування» установлювали показання приладу на нуль, потім натискають кнопку калібрування/вимір, переходячи в режим вимірів, якщо

показання приладу не перевищує трьох розподілів (300) переходили у режим точних вимірів натисканням кнопки (\* 10); після встановлення стабільних показань (приблизно/30-60с) записують значення.

### 3.3 Розробка структурної схеми САУ

Для резонансно-періодичного електроопромінення овочевих культур в умовах захищеного ґрунту була розроблена система автоматичного керування опроміненням, структурна схема яка представлена на рисунку 3.4.

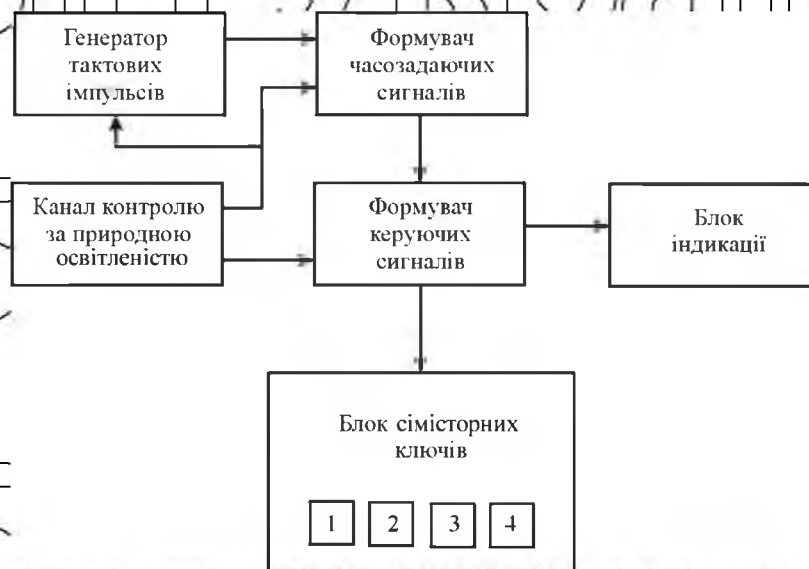


Рис. 3.4 Структурна схема САУ електроопроміненням.

Пристрій УРПОР-0,5-4-02 забезпечує періодичне опромінення, вибір режиму роботи опромінювачів, контроль за станом природної освітленості та почергове включення ламп з п'ятихвилинним інтервалом, з метою полегшення роботи пуско-захисної апаратури.

Процес регулювання частоти ритмозадаючого впливу може здійснюватись в інтервалі від 15 до 60 хвилин, що забезпечує резонансно-періодичне опромінення різних видів овочевих культур.

На рисунку 3.5 представлено схему пристрою для опромінення рослин в теплиці, в якому стимуляція росту і розвитку рослин забезпечується шляхом активації фотосинтетичного апарату рослин за рахунок введення вимірювальних перетворювачів біоелектричного потенціалу, що забезпечують періодичну роботу опромінювачів на резонансній частоті.

Це досягається шляхом чергування низького і високого рівня опроміненості (накладання ритмічного опромінення на постійне), при цьому безперервно вимірюють амплітуду коливань електричного потенціалу між листом рослини та її кореневою шишкою за допомогою вимірювальних перетворювачів біоелектричного потенціалу і по отриманим даним визначається резонансна частота періодичності електроопромінення.

Саме частота періодичності, що збігається з частотою власних коливань рослини забезпечує максимальну амплітуду зміни всіх фізіологічних параметрів

рослини з різними генотипічними особливостями і в різних стадіях органогенезу, зниження витрат електроенергії, підвищення ефективності електричного опромінення, стимуляцію росту та розвитку рослин. Цей пристрій захищений патентом на винахід.

Пристрій складається з вимірювальних перетворювачів біоелектричного потенціалу рослини 1, які розташовані у теплиці 2, вхід яких має контакт з рослиною, а вихід з'єднано з пристроєм спряження 3 блока керування параметрами періодичності електроопромінювання І. Блок керування параметрами періодичності складається з: ЕОМ 4, вхід якої з'єднано з виходом пристрою спряження 3 (аналого-цифровий перетворювач, з'єднаний з мультиплексором), а вихід -

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



лічильника імпульсів і до реєстра 6 блоку формування імпульсів, що програмується, тригер 10, вхід якого з'єднано з каналом зв'язку 5, а його вихід - з входом тригера 11, вихід якого підключено до формувача керуючих сигналів (ФКС) 12, виходи якого з'єднані з блоком індикації 13 та діністорними оптронами симісторних ключей 14. Виконавчі механізми 15, які виконані у вигляді опромінювачів, зв'язані з виходами діністорних оптронів симісторних ключей 14. Блок контролю природного освітлення 16 з'єднано з лічильником імпульсів 9 та ФКС 12, а також з вимірювальними перетворювачами освітлення 17. Блок живлення 18 з'єднано з реєстрами 6 та 7 блоку формування імпульсів керування, що програмується, а також з діністорними оптронами симісторних ключей 14.

Пристрій працює так: через кожні три хвилини ЕОМ 4 звертається до вимірювального перетворювача біоелектричних потенціалів (БЕП) 1 через блок спряження 3 і фіксується амплітуда коливань БЕП. Одержуючи інформацію від вимірювального перетворювача БЕП 1, ЕОМ 4 виводить на екран графіки коливань БЕП, по яким визначається частота періодичності електроопромінення, після чого відбувається перетворення цього значення в код, що надходить по каналу зв'язку 5 в реєстри 6 і 7 програмованого блоку формування імпульсів керування, що належить блоку керування параметрами періодичності 1. Однохвилинні імпульси, що виробляються генератором тактової частоти 8, подаються на лічильник імпульсів 9, який виробляє імпульси, пропорційні частоті власних коливань рослин. Тригери 10 і 11 формують імпульси для ФКС 12. Керуючі сигнали з виходів ФКС 12 надходять на блок індикації 13 і на діністорні оптрони симісторних ключів 14, що здійснюють керування виконавчими механізмами 15 (опромінювачі). Блок контролю природної освітленості 16, при досягненні порогового значення, яке вимірюється датчиками освітленості 17, блокує роботу ФКС 12, при цьому відбувається відключення виконавчих механізмів 15.

Дослідженнями визначено що максимальне значення БЕП, а таким чином, й максимальна активізація фізіологічних процесів відбувається при періоді світлового впливу 60 хв, опроміненні 30 Вт/м<sup>2</sup> і температурі 20°C.

Для визначення оптимального значення скважності було проведено досліді при таких умовах: штучне освітлення створювалося лампами типу ДРЛФ-400 з розрахунку встановленої потужності 250 Вт/м<sup>2</sup>, що відповідає рівню освітленості в 16 Фт/м<sup>2</sup>; щільність розміщення розсади складала 25 рослин/м<sup>2</sup> при її вирощуванні на протязі 20 діб. Як відомо, показниками, що найбільш повно характеризують рівень розвитку розсади огірків, є суха маса та загальна площа листів [42]. Як вихідний параметр при проведенні досліді було обрано саме перший показник, як такий, що піддається більш точному вимірюванню та більш повно характеризує рівень розвитку рослини в цілому. Визначення сухої маси відбувалося шляхом усереднення показників по всій площині експериментальної ділянки при випадковому виборі однієї рослини з визначеної площини. Потужність, що споживалася за один цикл, може бути розрахована за формулою:

$$W^* = W_s^* + P^* \cdot (m \cdot T - t_s),$$

де  $W_s^*$  - енергія, що споживається на пуск ламп, кВт·год/м<sup>2</sup>;

$P^*$  - потужність з розрахунку на площу, кВт/м<sup>2</sup>;

$m$  - відношення тривалості світлової фази до тривалості періоду;

$t_s$  - час пуску, з розрахунку досягнення світловим потоком 0.9 від номінального значення лампи і прийнято  $3 \text{ хв} = 0.05 \text{ год}$ , або ж ці витрати можуть визначатися за лічильником безпосередньо. Слід зауважити, що енергія, витрачена на пуск, при невеликих значеннях  $m$  складає вже досить помітну частку від спожитої за час світлової фази і нею не можна нехтувати. В середньому для лампи ДРЛФ-400 вона склала 23.5 Вт. Слід врахувати, що в зв'язку з особливостями роботи ламп типу ДРЛ, а саме наявності досить тривалого періоду пуску та неможливості повторного пуску лампи до остигання внутрішньої колби значення  $m$ , які можна реалізувати, лежать в межах від 0,15-0,2 до 0,8-0,85, проте для порівняння провадився дослід і з безперервним еспромінням.

Результати дослідів наведено на рис. 3.6, де показана зміна енерговитрат за один цикл у перерахунку на  $1 \text{ м}^2$  площі (Q), суха маса однієї рослини (M) та енерговитрати на створення 1 кг сухої маси (W). Як бачимо, з точки зору мінімізації енерговитрат оптимальним є співвідношення тривалостей світлової фази та періоду близько  $m=0,5$ . Слід також зауважити, що робота при малих значеннях  $m$  не є більш оптимальною в порівнянні з великими значеннями  $m$ , оскільки відставання в розвитку росади веде до затримки отримання врожаю, що крім іншого, веде до перевитрат теплової енергії, зниження в обсязі і ціні.

### 3.4 Розробка та дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації

Систему диференціальних рівнянь можна використати для розробки імітаційної моделі теплиці в середовищі MATLAB Simulink. Використовуючи блоки Constant, введемо значення коефіцієнтів  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ , продуктивність насоса, об'єм повітря в теплиці і температуру гарячої води  $G_n$ ,  $V_v$ ,  $t_g$ . Так як  $t_z$  – температура зовнішнього повітря є збуренням моделі і далі може бути використана при моделюванні управління об'єктом введемо його за допомогою блоку Step. Час запізнення введемо на каналі подавання води насосом за допомогою блоку Transport Delay.

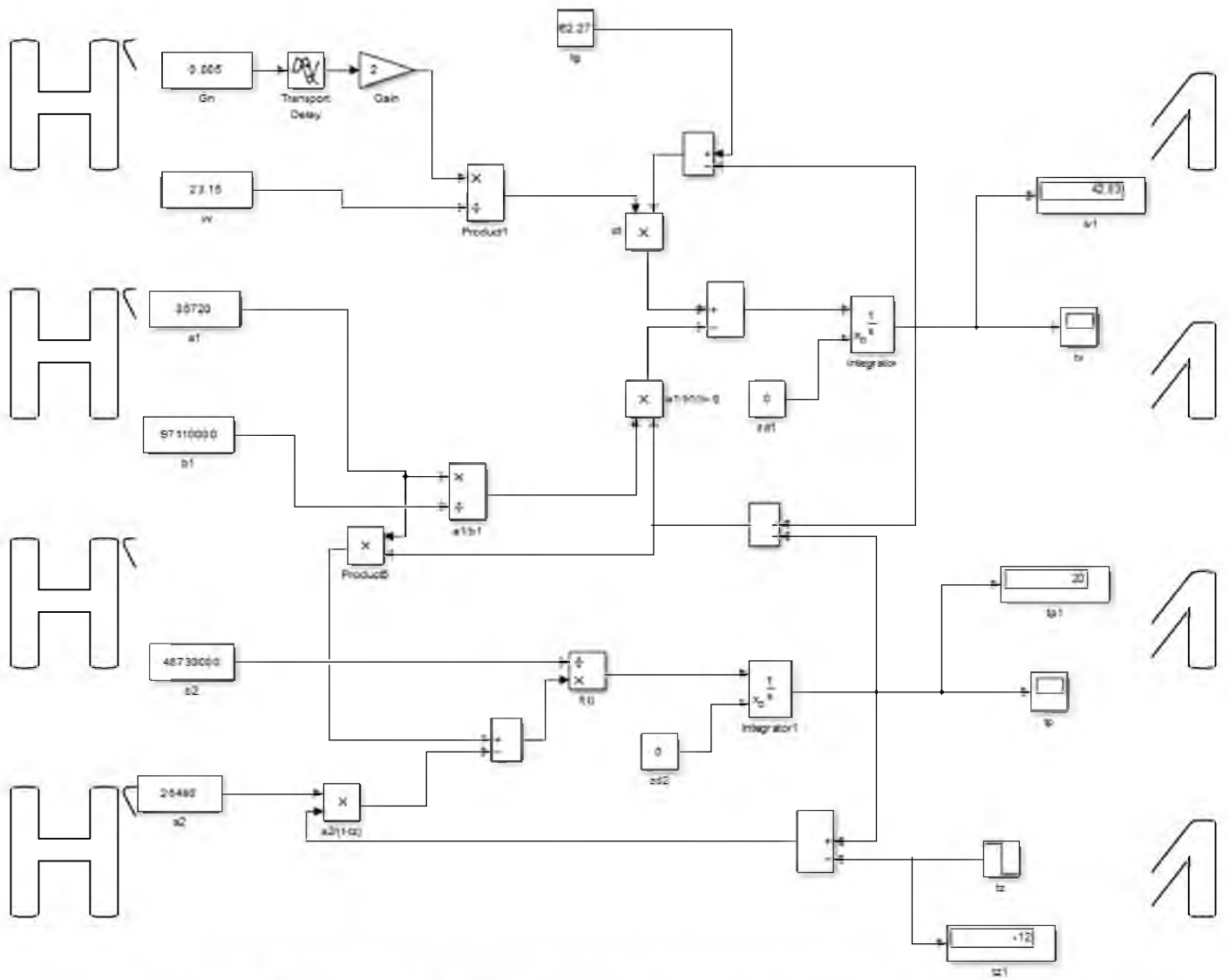


Рис. 3.4.1. Імітаційна модель об'єкта автоматизації без зашторювання

За допомогою імітаційної моделі теплиці отримуємо розгінні характеристики по каналах температури в приміщенні теплиці і температури теплоносія:

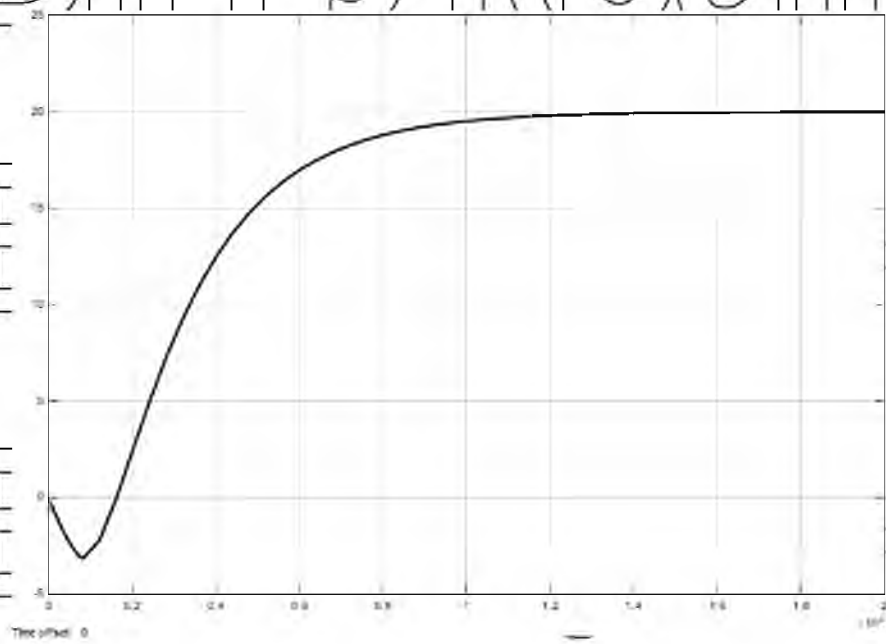


Рис. 3.4.2. Розгінна характеристика по каналу температури в теплиці

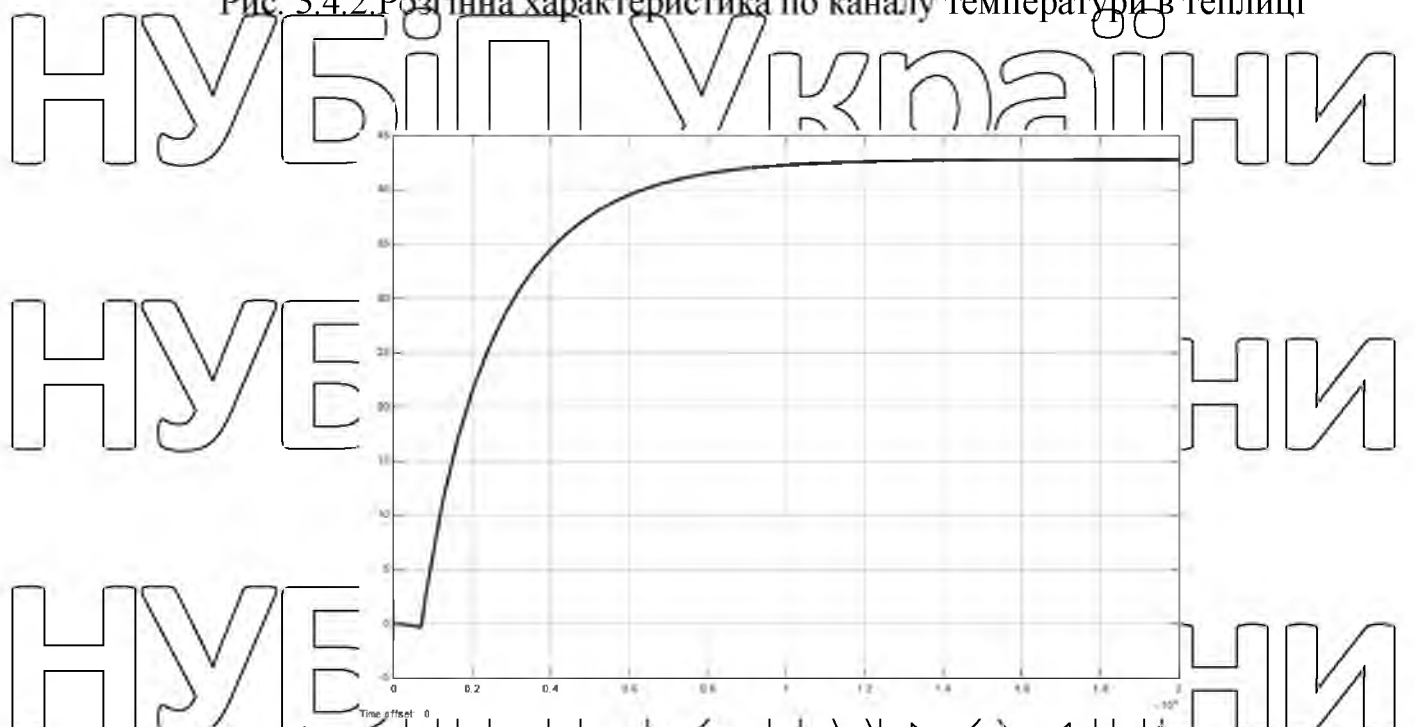


Рис. 3.4.3. Розгінна характеристика по каналу температури теплоносія

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

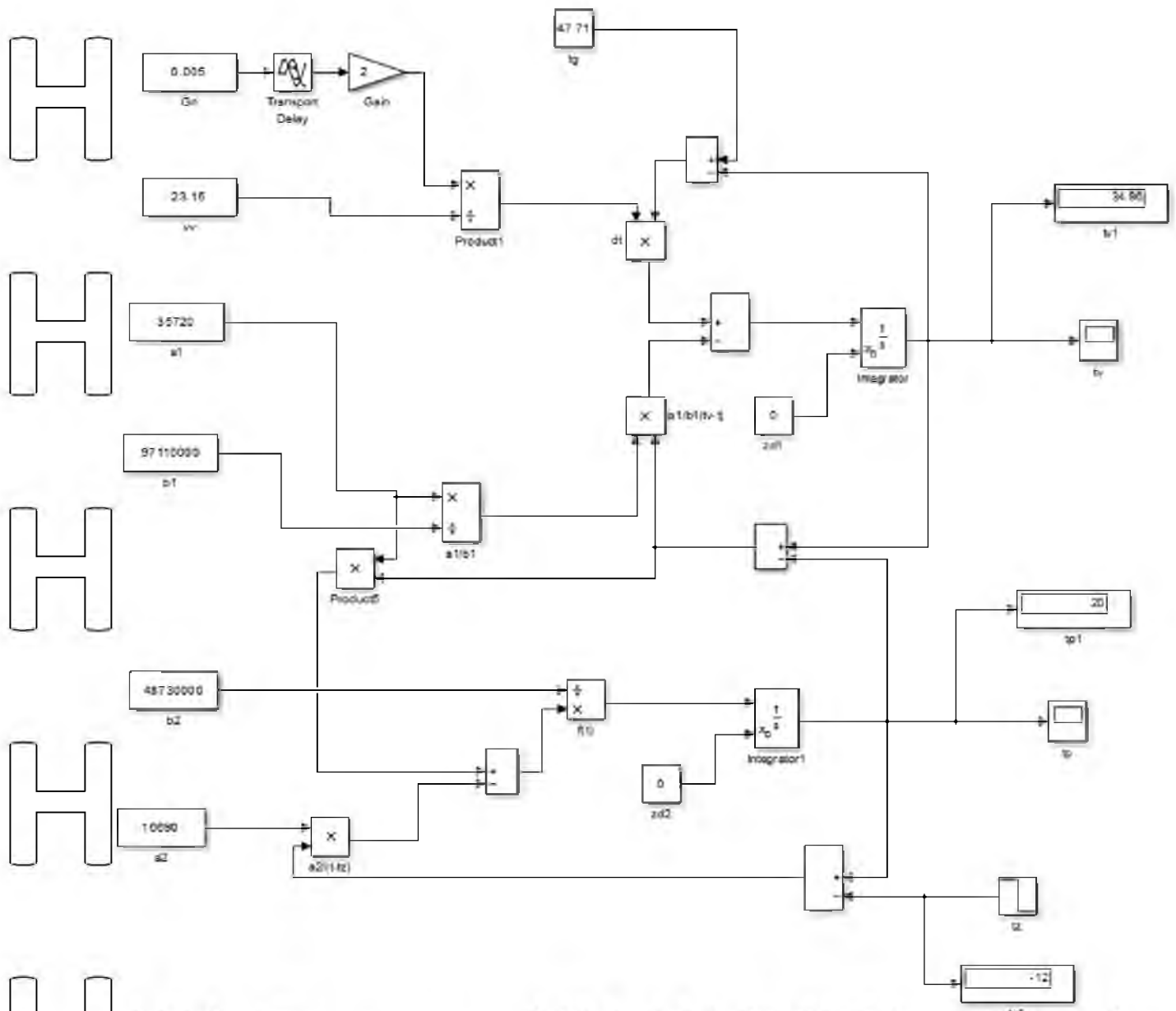


Рис. 3.4.4. Імітаційна модель теплиці з зашторюванням

За допомогою імітаційної моделі теплиці отримуємо розгінні характеристики по каналах температури в приміщенні теплиці і температури теплоносія з урахування зашторювання:

НУБІП України

НУБІП України

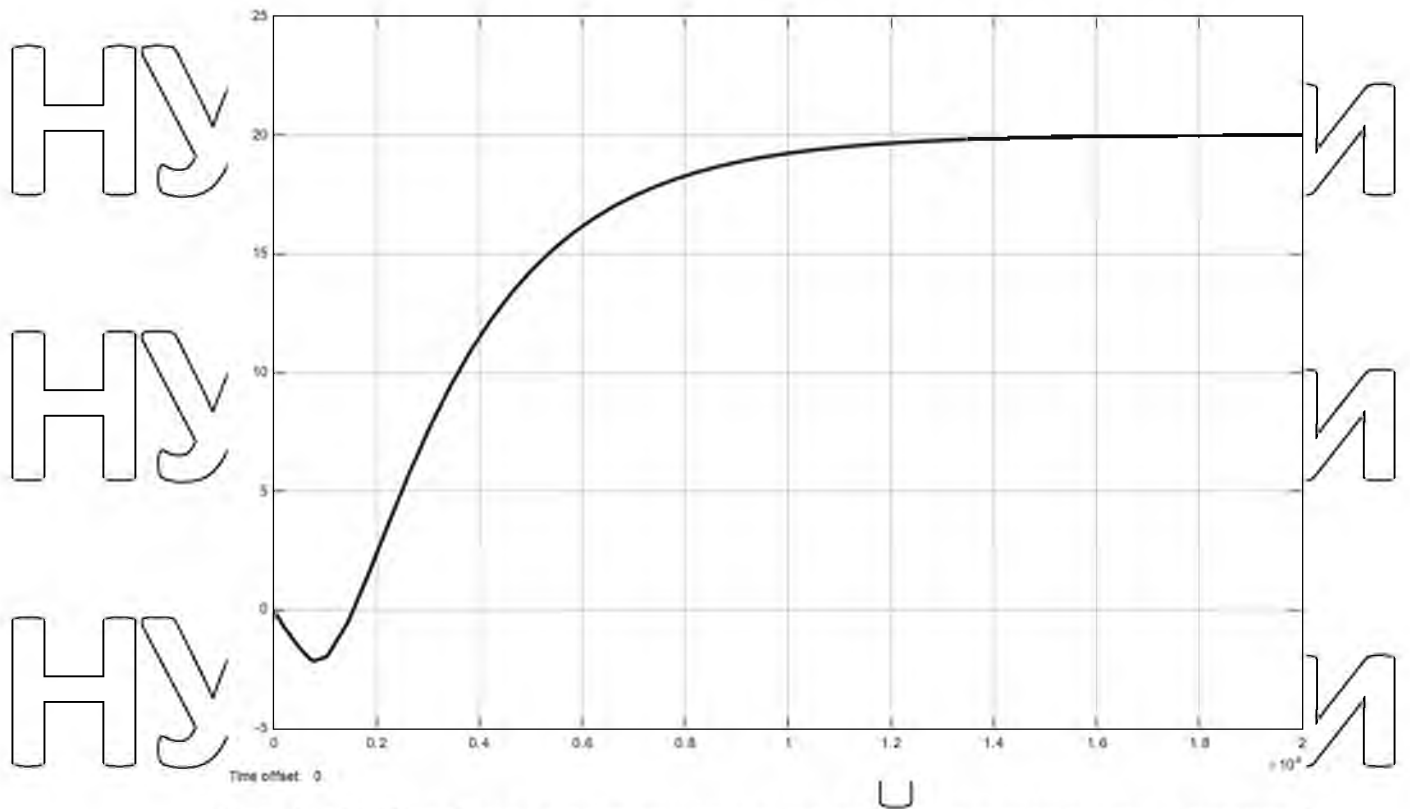


Рис. 3.4.5. Розгінна характеристика по каналу температури в теплиці

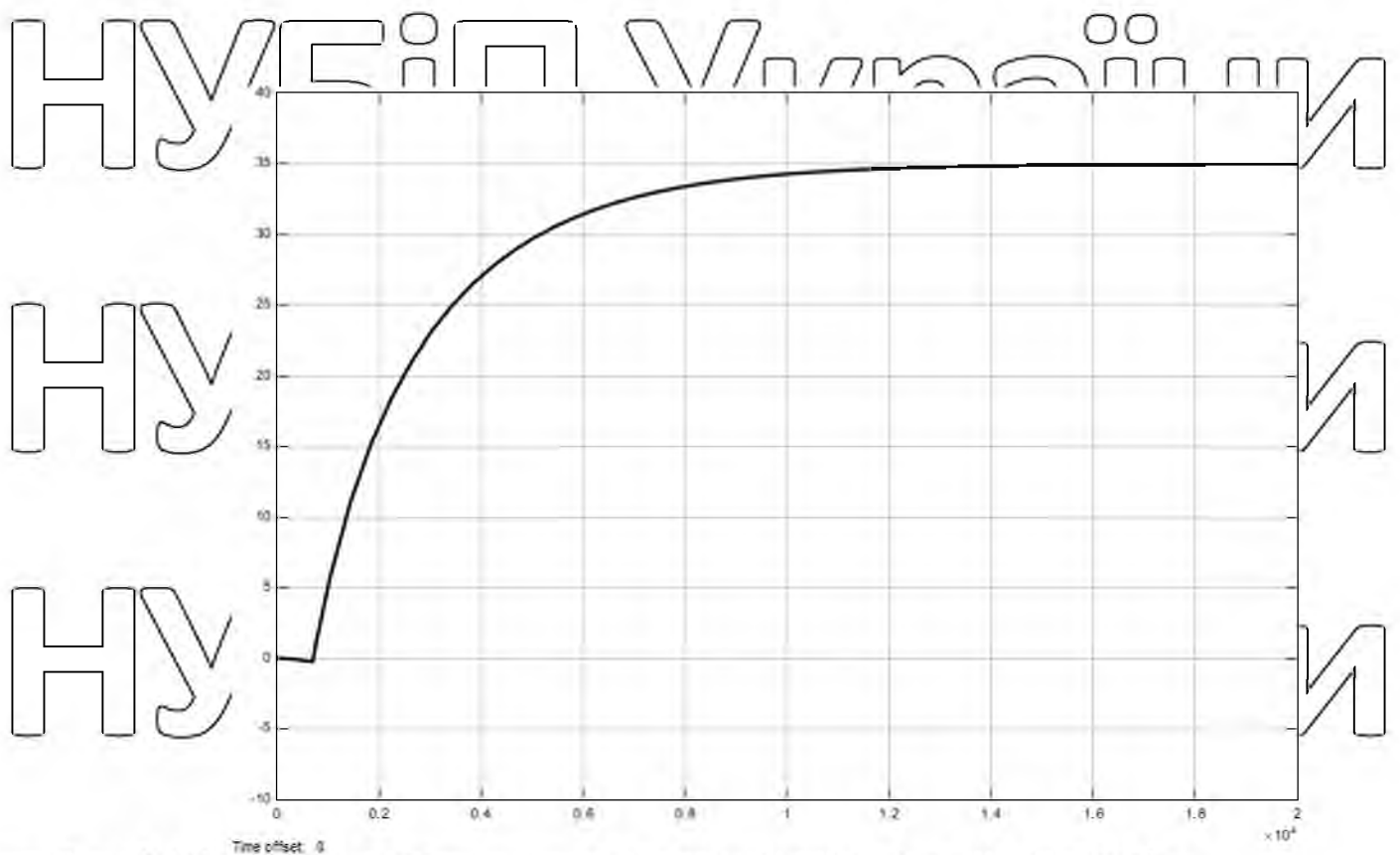


Рис. 3.4.6. Розгінна характеристика по каналу температури теплоносія

Згідно проведених досліджень оптимальна температура повітря в

теплиці без зашторювання  $20^{\circ}\text{C}$  досягається при температурі теплоносія  $62.27^{\circ}\text{C}$ , а постійна часу об'єкта дорівнює  $T_0 = 12000 \text{ c}$ , а в теплиці з зашторюванням оптимальна температура  $20^{\circ}\text{C}$  досягається при температурі теплоносія  $47.71^{\circ}\text{C}$ , а постійна часу об'єкта дорівнює  $T_0 = 12000 \text{ c}$ .

Коефіцієнт передачі об'єкта визначається відношенням :

$$k_0 = \frac{\Delta t_w}{\Delta t_v} \quad (3.1)$$

Звідси  $k = \frac{20}{62.27} = 0.31$  – для теплиці без зашторювання

$k_0 = \frac{20}{47.71} = 0.42$  – для теплиці з зашторюванням.

Для статичних об'єктів передатна функція матиме таку структуру:

$$W(s) = \frac{k_0 \cdot e^{-\tau_0 s}}{T_0 s + 1}, \quad (3.2)$$

де  $s$  – оператор Лапласа.

Відповідно до математичної моделі маємо  $r = 700 \text{ c}$ ,  $T_0 = 12000 \text{ c}$ ,  $k_0 =$

$0.31$  для теплиці без зашторювання і  $k_0 = 0.42$  для теплиці з зашторюванням.

Отже, передатна функція теплиці як об'єкта регулювання температури повітря є інерційною ланкою із запізненням, і має вигляд:

$$W(s) = \frac{0.31 \cdot e^{-700s}}{12000s + 1} \quad \text{– для теплиці без зашторювання}$$

$$W(s) = \frac{0.42 \cdot e^{-700s}}{12000s + 1} \quad \text{– для теплиці з зашторюванням}$$

Температури води на виході системи ( $t_v$ ), температури теплоносія на вході ( $t_g$ ) та зовнішньої температури повітря ( $t_z$ ) без зашторювання

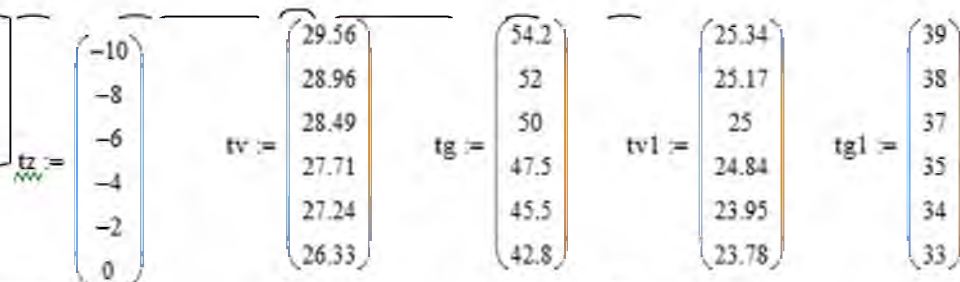
|                       |       |       |       |      |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| $t_z, ^\circ\text{C}$ | -10   | -8    | -6    | -4   | -2    | 0     |
| $t_v, ^\circ\text{C}$ | 29.56 | 28.96 | 28.49 | 27.7 | 27.24 | 26.33 |
| $t_g, ^\circ\text{C}$ | 54.2  | 52    | 50    | 47.5 | 45.5  | 42.8  |

Таблиця 3.2

Температури води на виході системи ( $t_v$ ), температури теплоносія на вході ( $t_g$ ) та зовнішньої температури повітря ( $t_z$ ) з урахуванням зашторювання

|                       |       |       |      |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| $t_z, ^\circ\text{C}$ | -10   | -8    | -6   | -4    | -2    | 0     |
| $t_v, ^\circ\text{C}$ | 25.34 | 25.17 | 25.0 | 24.84 | 23.95 | 23.78 |
| $t_g, ^\circ\text{C}$ | 39    | 38    | 37   | 35    | 34    | 33    |

Використовуючи отримані дані будують графіки залежності температури теплоносія на вході і на виході з системи:



де  $t_v$  і  $t_g$  – температури теплоносія на виході і на вході відповідно в теплиці без зашторювання, а  $t_{v1}$  і  $t_{g1}$  – температури теплоносія в теплиці з зашторюванням

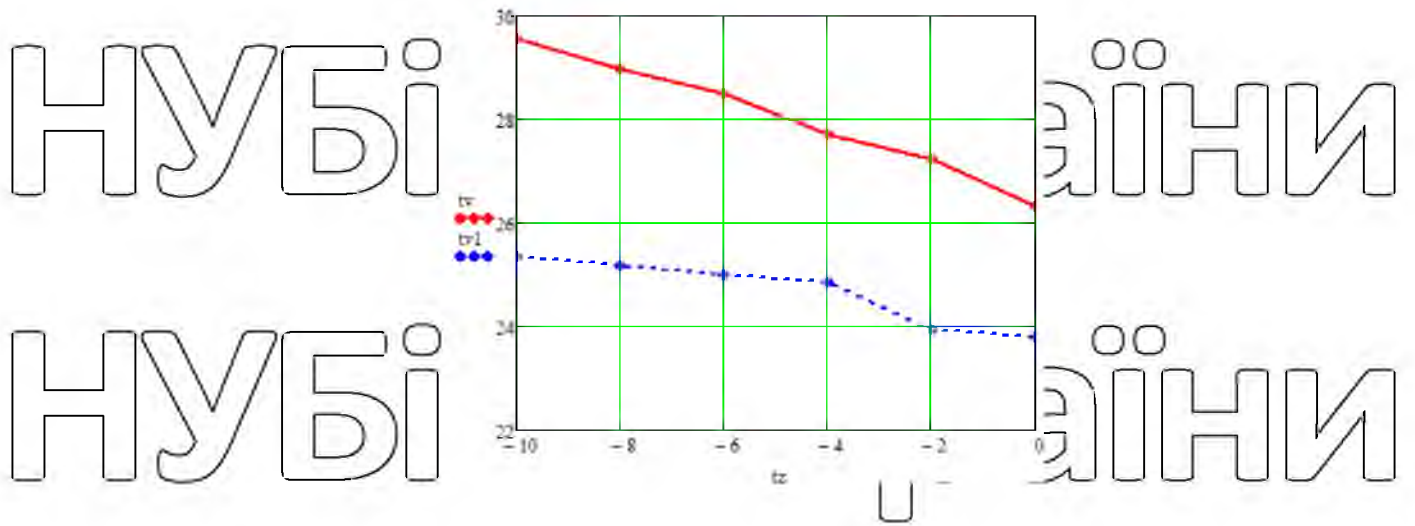


Рис. 3.4.7. Графік залежності температури теплоносія на виході від температури зовнішнього повітря

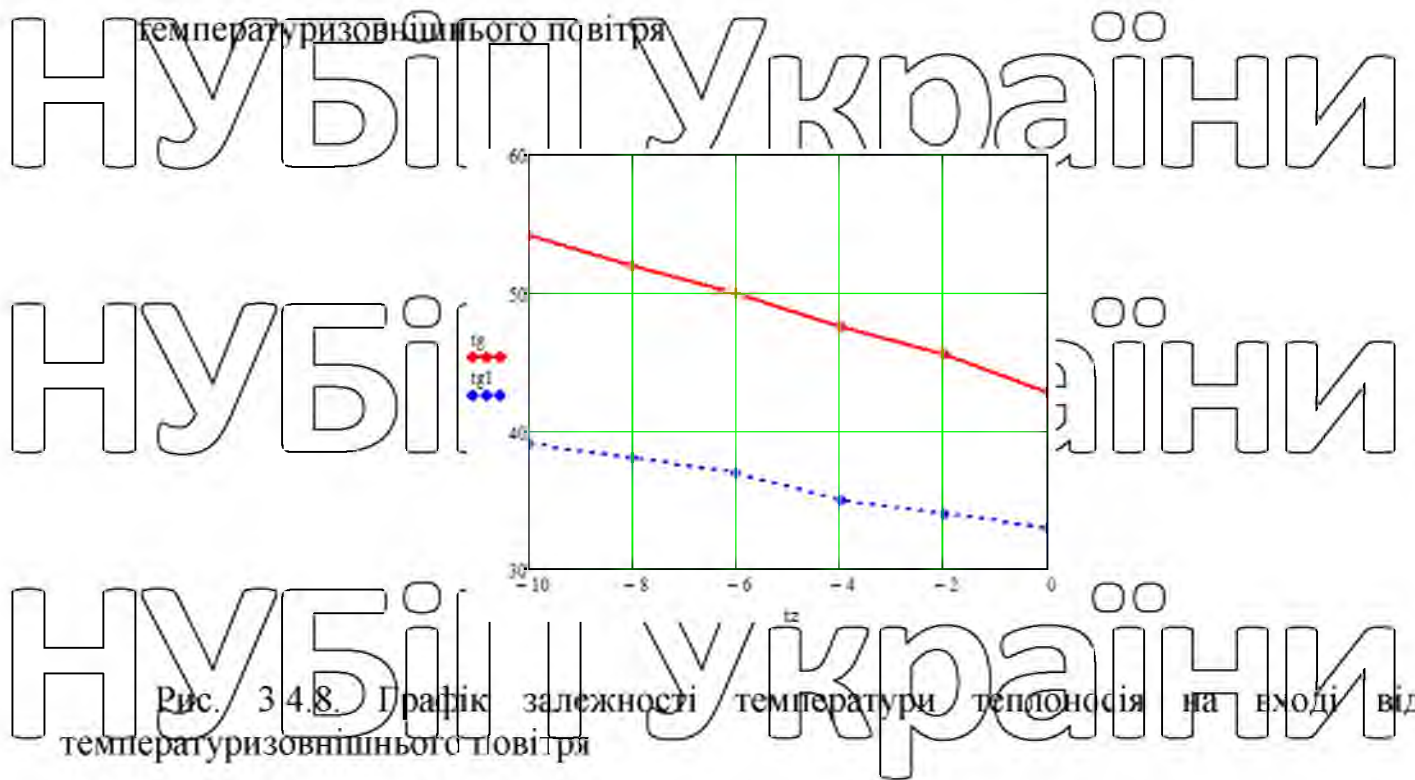


Рис. 3.4.8. Графік залежності температури теплоносія на входу від температури зовнішнього повітря

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ДОСВІЧУВАННЯ ОГІРКІВ

### 4.1. Ефективність САК через часткове зашторювання по положенню сонця

Для розробки САК керування процесом опромінення розглянемо залежності зміни концентрації  $\text{CO}_2$  (рис.4.1) і відносної вологості (рис.4.2) при відкритому затіняючому екрані.

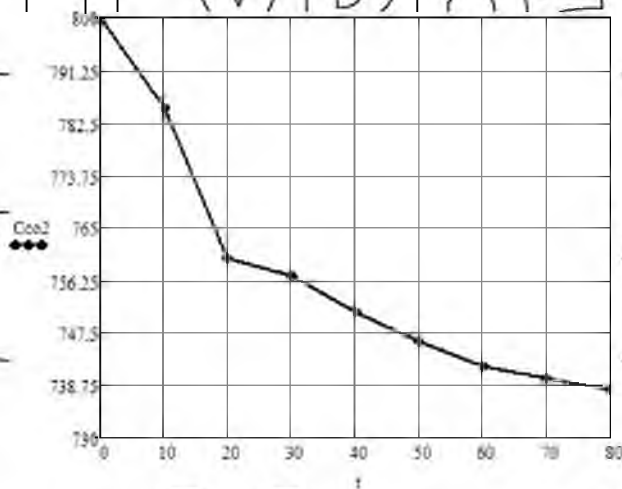


Рис. 4.1. Графік зміни концентрації  $\text{CO}_2$  при відкритому затіняючому екрані

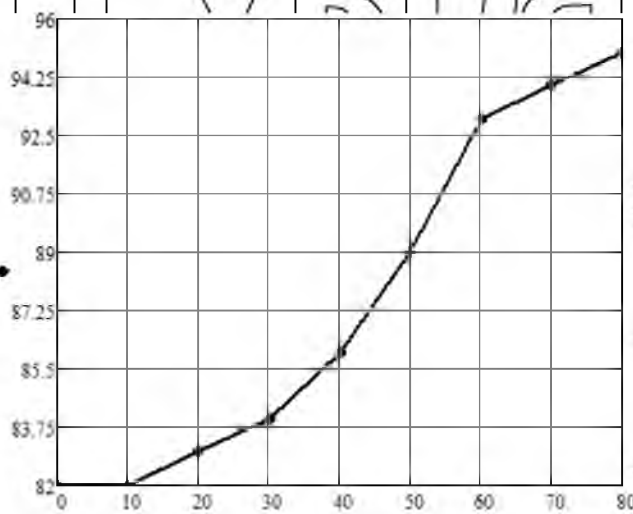


Рис. 4.2. Графік зміни відносної вологості при відкритому затіняючому екрані

З графіків видно що відносна вологість при відкритому затіняючому екрані змінюється від 82% до 95%, а концентрація  $\text{CO}_2$  зменшується від 800 ppm до 738 ppm.

Розрахуємо як буде змінюватись відносна вологість при зашторюванні

половини приміщення теплиці. Для цього, розрахуємо температуру точки роси  $T_p$  при оптимальних параметрах враховуючи що температура зовнішнього повітря рівна температурі в приміщенні теплиці.

$$T_p = \frac{a \cdot \gamma(T_m, RH)}{b + \gamma(T_m, RH)} \quad (4.1)$$

де  $a = 17.27$ ,  $b = 237.7^\circ\text{C}$ ,  $T_m$  – температура в приміщенні теплиці,  $RH$  – відносна вологість в об'ємних долях ( $0 < RH < 1$ ).

$$\gamma(T_m, RH) = \frac{a \cdot T_m}{b + T_m} \cdot \ln(RH) \quad (4.2)$$

Розраховуємо температуру точки роси, використовуючи формули (4.1), (4.2):

$$\gamma(T_m, RH) = \frac{17.27 \cdot 20}{237.7 + 20} \cdot \ln(0.82) = 1.142$$

$$T_p = \frac{17.27 \cdot 1.142}{237.7 + 1.142} = 16.8^\circ\text{C}.$$

Розраховуємо значення температури в приміщенні теплиці, використовуючи знайдені значення, та

будуємо графік зміни температури:

|    |        |
|----|--------|
| 0  | 26     |
| 10 | 20     |
| 20 | 19.804 |
| 30 | 19.611 |
| 40 | 19.232 |
| 50 | 18.682 |
| 60 | 17.98  |
| 70 | 17.809 |
| 80 | 17.641 |

Рис. 4.3 Дані для побудови графіку зміни температури

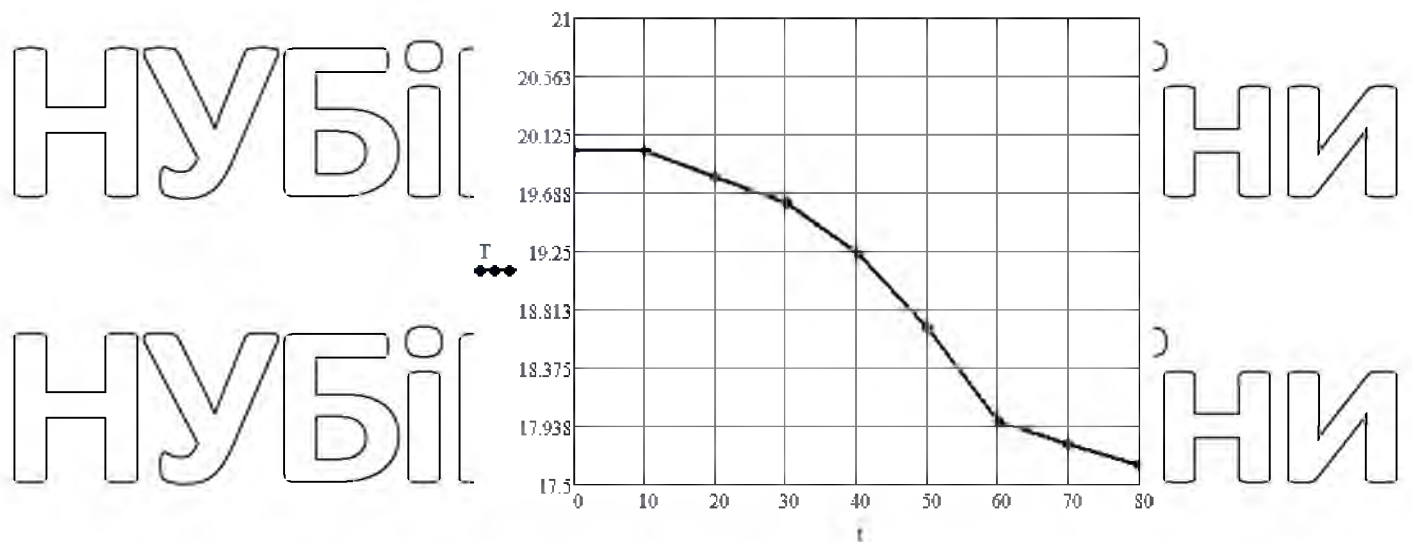


Рис.4.4. Графік зміни температури при відкритому затіняючому екрану

Оскільки при закритті однієї половини затінюючого екрану приміщення теплиці поділиться на 2 умовні зони з різними параметрами для розрахунку кінцевої температури в приміщенні теплиці використовуємо формулу (3.3):

$$T_p = \frac{G_1 \cdot T_1 + G_2 \cdot T_2}{G_1 + G_2} \quad (4.3)$$

де  $G_1 = G_2$  – маса повітря першої і другої зони відповідно;  $T_1, T_2$  – температура першої і другої зони відповідно.

$$G_1 = G_2 = \frac{V_p \cdot \rho_p}{2} \quad (4.4)$$

де  $V_p$  – об'єм повітря в теплиці,  $\rho_p$  – густина повітря.

$$G_1 = G_2 = \frac{77040 \cdot 1.2255}{2} = 47206.26 \text{ кг}$$

$$T_p = \frac{47206.26 \cdot 20 + 47206.26 \cdot 17.6}{47206.26 + 47206.26} = 18.8^\circ\text{C}$$

Використовуючи кінцеве значення температури та формули (4.1), (4.2)

знаходимо відносну вологість в приміщенні теплиці при закритті однієї половини затіняючого екрану:

Given

$$b := 237.7 \quad a := 17.27 \quad T := 18.8 \quad T_p := 16.829$$

$$\phi = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln(\text{RH})$$

$$T_p = \frac{b \cdot \phi}{a - \phi}$$

$$\text{Find}(\text{RH}) = 0.883$$

Рис. 4.5. Лістинг програми для розрахунку відносної вологості

Отже, як видно з проведених розрахунків у повністю заштореній теплиці температура зменшується до 17.6 °C і відносна вологість зростає до 95%, а в наполовину заштореній теплиці температура 18.8°C а відносна вологість 88.3%, що дозволяє зробити висновок що є доцільним впровадження САК часткового зашторювання по положенню сонця.

#### 4.2. Розробка функціональної схеми автоматизації

Для вирощування огірків використовується блочна теплиця площею 2464 м<sup>2</sup> із застосуванням мало об'ємного (гідропонного) способу на горф'яному субстраті.

Схема функціональна автоматизації процесу опромінення у теплиці зображена на рис. 4.6., а функціональна схема САК температурним режимом теплиці з зашторюванням на рис. 3.7.

Контур № 4, 5, 6, 7, 8 (рис. 4.6) – контури керування горизонтальними енергозберігаючим, темним та шторними екранами. Їх використання дозволяє істотно заощаджувати енергію, оскільки основні теплові втрати в теплиці відбуваються через перекриття. Так, в холодну пору температура теплоносія в системах опалення теплиць без шторних екранів складає 75-90°C, а при використанні подвійного тепло зберігаючого екрану температура теплоносія в трубах опалення складає 45-55°C.

До складу системи керування шторними екранами входить датчик опромінювання, який, в свою чергу, є складовою частиною метеорологічної станції, автоматичний керуючий пристрій UCIA та виконавчий механізм переміщення екранів (електродвигун з редуктором) NS.

При низьких значеннях температури навколишнього середовища шторні екрани закриті, при активному сонячному випромінюванні – відкриті.

Контури №1,2 – контури зовнішньої метеостанції, яка вимірює освітленість ззовні, для прогнозування кількості опромінення, і вимірювального приладу в середині об'єкту дослідження, який вимірює кількість опромінення у технологічному відділі.

Контур №3 – контур керування опромінювачами, які складається з двох блоків ламп опромінювання.

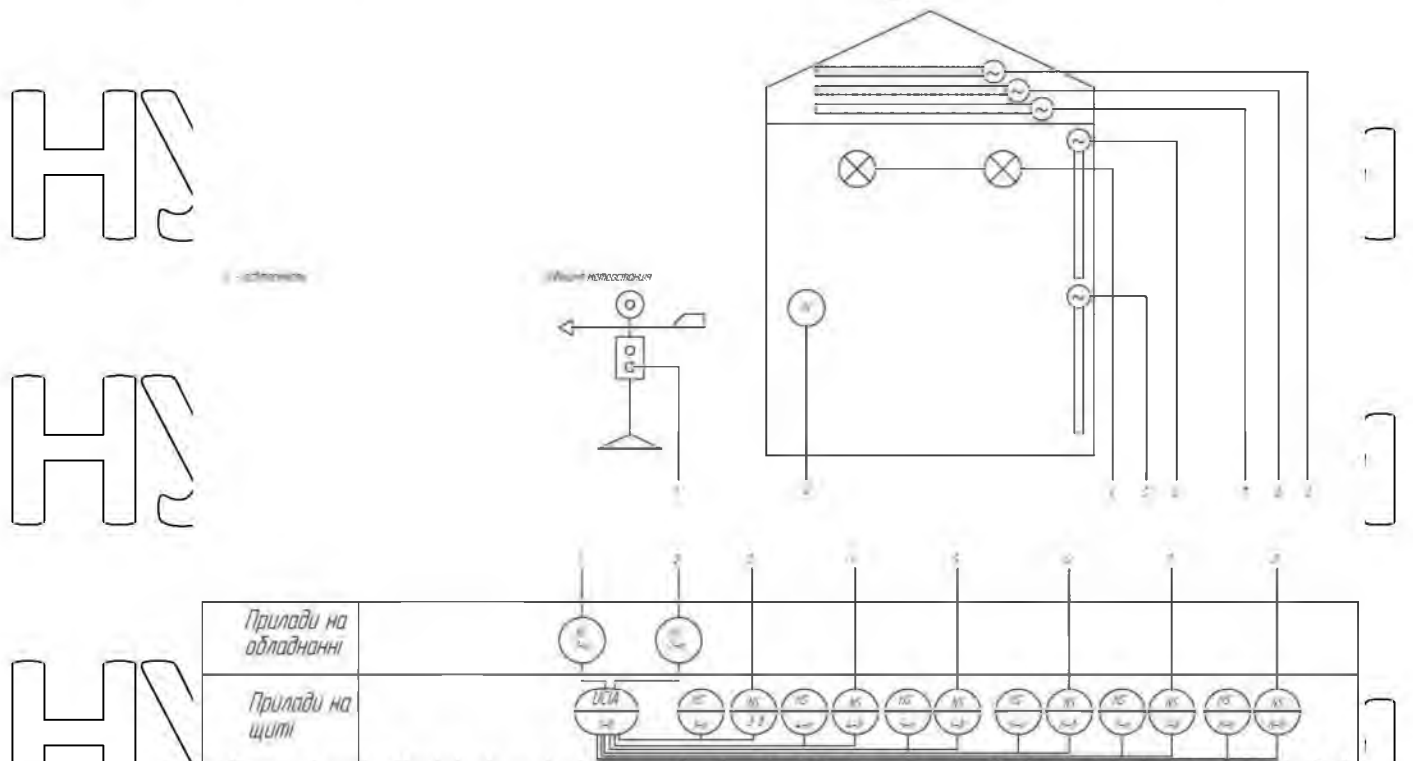


Рис 4.6. Функціональна схема автоматизації опромінювання огірків у споруді закритого ґрунту

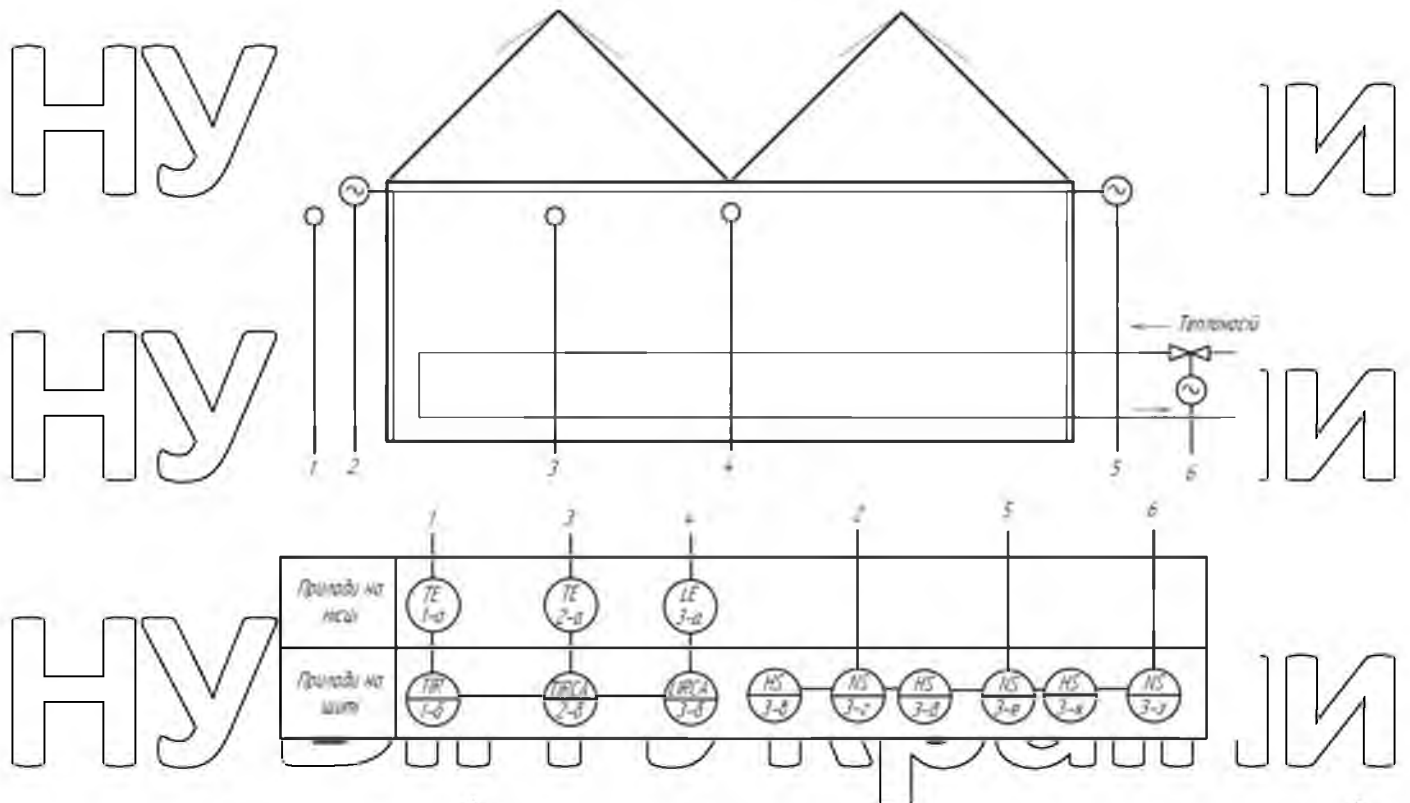


Рис. 4.7. Функціональна схема САК температурним режимом теплиці з зашторюванням: 1 – датчик температури ззовні; 2, 5, 6 – електродвигун; 3 – датчик температури у теплиці; 4 – датчик освітленості

Для контурів керування опромінюванням та зашторюванням передбачено роботу в ручному та автоматичному режимах, що забезпечується елементами HS.

#### 4.3. Вибір та визначення параметрів налаштування регулятора

Для нашої системи обираємо промисловий програмований регулятор ПЛК73 фірми ОВЕН (рис. 4.8).



Рис.4.8. Зовнішній вигляд регулятора ПЛК73

## Технічні характеристики регулятора ПЛК73

|   |   |
|---|---|
| Кількість аналогових входів                       | 8   |
| Параметри вбудованого вторинного джерела живлення | вихідна напруга $24 \pm 3$ В,<br>струм не більше 180 мА |
| Ступінь захисту корпусу з боку лицьової панелі    | IP55  |
| Напруга живлення                                  | 90 ... 245 В<br>(частотою від 47 до 63 Гц)              |
| Споживана потужність                              | не більше 18 ВА   |
| Габаритні розміри (ШхВхГ), мм                     | 137 x 168 x 55  |

Визначаємо параметри налаштування регулятора визначаємо аналітичним методом. Для цього запишемо передатну функція незмінної частини системи:

$$W_{нч}(s) = W_{ПВ}(s) \cdot W_{ВП}(s) \cdot W_{ОК}(s) = \frac{0.4}{3s+1} \cdot \frac{4}{117s+1} \cdot \frac{0.42 \cdot e^{-1800s}}{8000s+1}$$

$$= \frac{0.6}{72} \cdot (3s+1) \cdot (117s+1) \cdot (8000s+1)$$

Передатна функція ПД-регулятора:

$$W_{рег}(s) = \frac{(T_{ВП} + 1) \cdot (T_{ОК} + 1)}{K \cdot 2 \cdot \tau} = \frac{(117 + 1) \cdot (8000 + 1)}{0.672 \cdot 2 \cdot 1800}$$

Розраховуємо коефіцієнти  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ :

$$K_p = \frac{T_{ПВП} + T_{ВП} + T_{ОК}}{K \cdot 2 \cdot r} = \frac{3 + 117 + 800}{0.627 \cdot 2 \cdot 1800} = 3.356$$

$$K_i = \frac{1}{K \cdot 2 \cdot r} = \frac{1}{0.627 \cdot 2 \cdot 1800} = 4.134 \cdot 10^{-4}$$

$$K_p = \frac{T_{ПВП} \cdot T_{ВП} \cdot T_{ОК}}{K \cdot 2 \cdot r} = \frac{3 \cdot 117 \cdot 800}{0.627 \cdot 2 \cdot 1800} = 1161$$

#### 4.4. Вибір первинного перетворювача освітленості

При виборі первинних перетворювачів слід враховувати межі його діапазону вимірювання, які мають охоплювати діапазон зміни вимірюваної величини, не слід забувати про необхідність забезпечення потрібної перенавантажувальної здатності. Також при виборі потрібно враховувати можливість приєднання датчика до електронного пристрою. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії, чи інерційності сприймаючого елемента, яка характеризується його постійного часу  $T_m$ .

Для розроблюваної САК опромінюванням обираємо датчик BH1750 (Табл. 3.2), який призначений для вимірювання освітлення. Він 16-бітний, цифровий з інтерфейсом I2C. Фотодіод на BH1750 визначає інтенсивність світла, яка перетворюється в вихідну напругу за допомогою операційного підсилювача. Відмінність цього датчика в тому що він відразу виводить дані в люксах.

Таблиця 4.2

|                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Спектральна характеристика:   | близька до візуальної чутливості |
| Функція сніячного режиму      | +                                |
| Фільтрація світлових шумів:   | 50/60 Гц                         |
| Напруга живлення              | 3.3-5В                           |
| Споживання струму             | 120мкА                           |
| Споживання в сніячному режимі | 0.01мкА                          |

|  |                |
|--|----------------|
| Чутливість                                     | 65536 градусів |
| Точність в режимі високої роздільної здатності | 1ЛК            |
| Точність в режимі низької роздільної здатності | 4ЛК            |
| Інша дані                                      | 12С            |
| Калібрування                                   | не потрібно    |
| Розміри  | 18.5x13.9x2 мм |
| Вага   | 5 грам         |

Обираємо датчик освітленості BH1750 в кількості 3-х штук



Рис.4.9 Датчик освітленості BH1750

Даний первинний перетворювач цілком задовольняє наші потреби, оскільки він забезпечує вимірювання освітленості в необхідному для нас діапазоні.

Передатна функція сприймаючого елемента має вигляд:

$$W_{III}(s) = K_{III} \quad (3.5)$$

Знаходимо коефіцієнт датчика:

$$K_m = \frac{U}{L} = \frac{10}{20000} = 0.0005$$

Отже передатна функція сприймаючого елемента:

$$W_{III}(s) = 0.0005$$

Датчики освітленості будуть встановлюватись на спеціальну конструкцію (рис.3.10) в приміщенні теплиці.

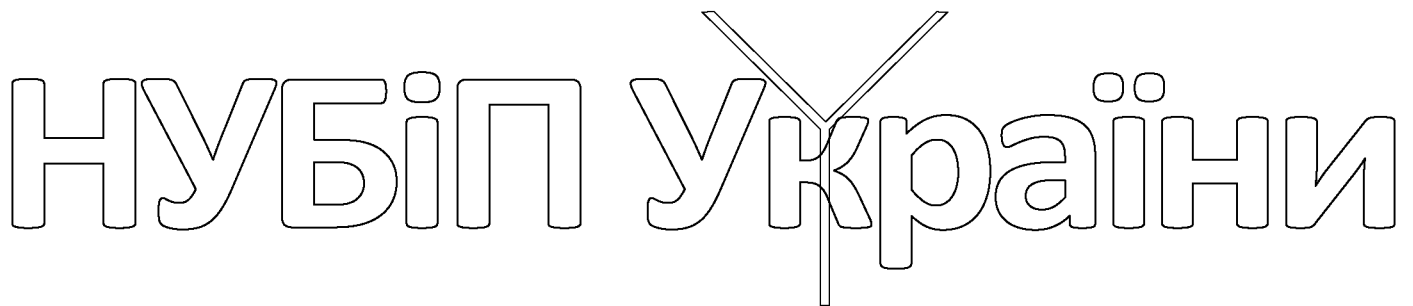


Рис.4.10. Конструкція для встановлення датчиків освітленості

Обираємо терморезистивний датчик платиновий терморезистивний датчик температури PT100KN 0815, виробництва компанії Heraeus Sensor Technology,

Німеччина. Зовнішній вигляд датчика зображений на рис.4.11, а технічні характеристики Табл. 4.3.



Рис. 4.11. Зовнішній вигляд датчика Pt100KN 0815

Таблиця 4.3  
Технічні характеристики датчика Pt100KN 0815

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Номинальний опір                  | 100 Ом при 0 °C                                 |
| Температурний коефіцієнт          | $\alpha = 3.97 \cdot 10^{-3}, 1/^\circ\text{C}$ |
| Показник теплової інерції         | $T_{tr} = 3 \text{ c}$                          |
| Струм у колі вимірювання          | 1 мА  |
| Опір ізоляції                     | вище 100 МОм при 20 °C<br>вище 2 МОм при 500 °C |
| Діапазон вимірювальних температур | від -50 °C до +300 °C                           |

Даний сприймаючий елемент цілком задовольняє наші потреби, оскільки він забезпечує вимірювання температури в необхідному для нас діапазоні.

Знаходимо коефіцієнт датчика:

$$K_m = 100 \cdot \alpha = 100 \cdot 3.97 \cdot 10^{-3} = 0.4$$

Отже передатна функція сприймаючого елемента:

$$W_m(s) = 0.4$$

#### 4.5 Вибір виконавчого механізму і регулюючого органу

В якості виконавчого пристрою і регулюючого органу обраємо мотор-редуктор фірми Rider RW1200/1600S (рис. 4.12, табл. 4.4).



Рис. 4.12. Зовнішній вигляд мотор-редуктора Rider RW1200/1600S

Таблиця 4.4

#### Технічні характеристики мотор-редуктора Rider RW1200/1600S

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Напруга живлення                   | 380 В   |
| Пусковий момент                    | 2000 Нм |
| Швидкість обертання вихідного валу | 4 об/хв |
| Номинальна потужність              | 2 кВт   |
| Номинальний струм                  | 4.5 А   |

Передатна функція виконавчого пристрою має вигляд інерційної ланки:

$$W_{ВП}(s) = \frac{k_{ВП}}{T_{ВП}s + 1}$$

Розрахуємо параметри передатної функції мотор-редуктора. Оскільки даний елемент враховує інерційність електроприводу і вибірку лопу при розгоні саме до номінальних оборотів, а не конкретне значення швидкості обертання валу. Таким чином,  $k_{ВП} = 4$ . Постійну часу мотор-редуктора можна визначити приблизно як третина часу виходу на номінальні оберти.

Оскільки час виходу мотор-редуктора на номінальні оберти з урахуванням навантаження складає 350с то:

$$T_{ВП} = \frac{350}{3} = 117c$$

Отже передатна функція мотор-редуктора:

$$W_{ВП}(s) = \frac{4}{117s + 1}$$

#### 4.6. Розробка програмно-апаратного забезпечення для реалізації алгоритму програмування регулятора здійснюємо в середовищі CODESys v2.3 на мові програмування IFC

Здійснюємо налагодження входів промислового регулятора згідно обраних датчик та вказуємо відповідні змінні для розробки програми.

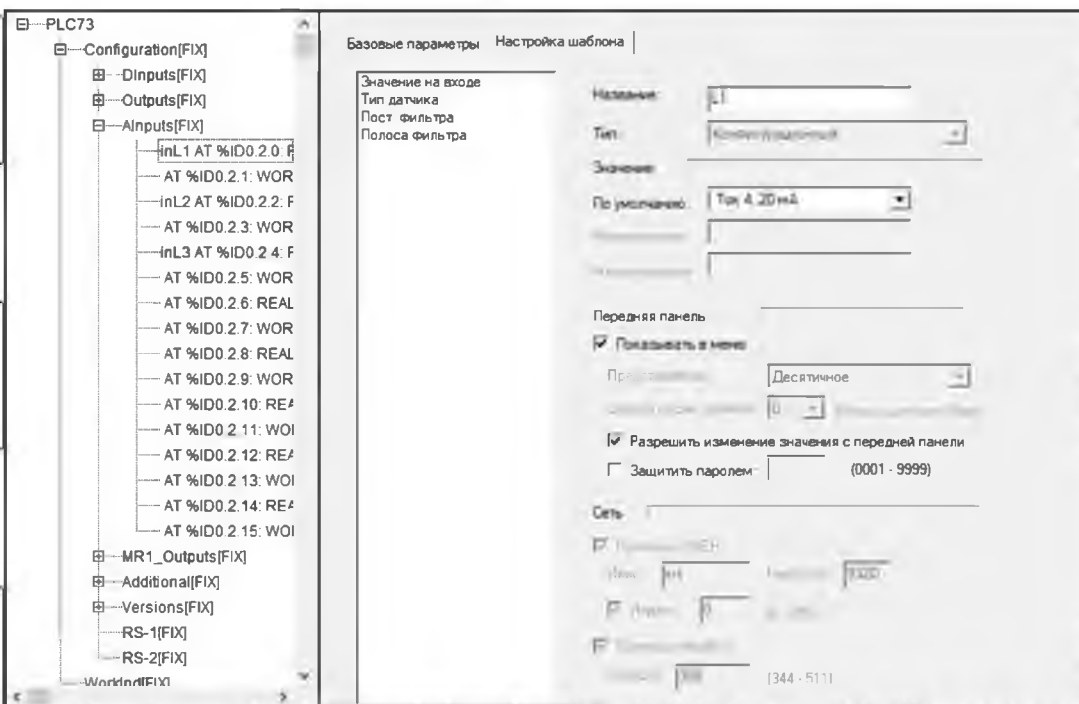


Рис. 4.13. Налаштування входів

регулятора. Програма на мові програмування IL:

T1.TON;

```
ScreenNum:WORD:=  
0;  
STR1:STRING[80]:='  
';
```

НУБІП у країїни

```
STR2:STRING[80]:="";  
TmP_tostr:TimeP_to_string  
:BL:BLINK;  
TR:R_TRIG;
```

НУБІП у країїни

```
key_TR:R_TRI  
G;x:BOOL;  
END_VAR  
T1(IN:=Start,PT=DWORD_TO_TIME(Timer_Ust*1000),Q=>,ET=>);  
Timer_Ost:=Timer_Ust-TIME_TO_DWORD(T1.ET/1000);
```

НУБІП у країїни

```
IF key=32 THEN  
x:=TRUE;  
ELSE  
x:=FALSE;
```

НУБІП у країїни

```
END_IF  
key_TR(CLK:=x,Q=>);  
IF key_TR.Q THEN  
Start:=NOT(Star  
t);END_IF
```

НУБІП у країїни

```
SetWorkScreenCount(2);  
BL(ENABLE:=TRUE,TIMELOW:=T#100ms,TIMEHIGH:=T#100ms,OUT=>);  
TR(CLK:=BL.OUT,Q=>);  
IF (T1.IN=FALSE) OR (T1.IN=TRUE AND T1.Q=FALSE) THEN
```

НУБІП у країїни

```
ScreenNum:=0;  
SetWorkScreen(ScreenNu  
m);  
TmP_tostr(t:=Timer_Ost,HH_str=>,MM_str=>,SS_str=>);
```

НУБІП у країїни

```
STR1:="";  
STR1:=CONCAT(STR1,' ');  
STR1:=CONCAT(STR1,TmP_tostr.HH_str);
```

НУБІП України

```
STR1:=CONCAT(STR1,':');
```

```
STR1:=CONCAT(STR1,TmP_tostr.MM_str);  
STR1:=CONCAT(STR1,' ');  
STR1:=CONCAT(STR1,TmP_tostr.SS_str);
```

НУБІП України

```
);IF TR.Q THEN
```

```
ClearScreen(ScreenNum);
```

```
ShowString(ScreenNum, 0, 0,  
STR1);
```

НУБІП України

```
END_IF
```

```
ELSE
```

```
ScreenNum:=1;  
SetWorkScreen(ScreenNum);  
STR2:=' Екрани  
відкриті'; IF TR.Q THEN
```

НУБІП України

```
ClearScreen(ScreenNum);
```

```
ShowString(ScreenNum, 0, 0,  
STR2);
```

НУБІП України

```
END_
```

```
IFEND_IF
```

```
T1:TON;  
ScreenNum.WORD:=  
0;
```

НУБІП України

```
STR1:STRING[80]:='
```

```
;
```

```
STR2:STRING[80]:="";  
TmP_tostr:TimeP_to_string  
;BL:BLINK;
```

НУБІП України

```

TR:R TRIG;
key_TR:R TRI
G;x: BOOL;
END_IF

```

```

T1(IN:=Start , PT:=DWORD_TO_TIME(Timer_Ust*1000) , Q=> , ET=> );
Timer_Ost:=Timer_Ust-TIME_TO_DWORD(T1.ET/1000);IF key_32 THEN
x:=TRUE;
ELSE
x:=FALSE;

```

```

END_IF

```

```

Key_TR(CLK:=x , Q=>
);IF key_TR.Q THEN
Start:=NOT(Star
t);END_IF

```

```

SetWorkScreenCount(2);
BL(ENABLE:=TRUE , TIMELOW:=T#100ms , TIMEHIGH:=T#100ms , OUT=> );
TR(CLK:= BL.OUT , Q=> );

```

```

IF (T1.IN=FALSE) OR (T1.IN=TRUE AND T1.Q=FALSE) THEN

```

```

ScreenNum:=0;

```

```

SetWorkScreen(ScreenNu
m);

```

```

TmP_tostr(t:=Timer_Ost , HH_str=> , MM_str=> , SS_str=> ),

```

```

STR1:="";

```

```

STR1:=CONCAT(STR1,':');

```

```

STR1:=CONCAT(STR1,TmP_tostr.HH_str);

```

```

STR1:=CONCAT(STR1,':');

```

```

STR1:=CONCAT(STR1,TmP_tostr.MM_str);

```

```

STR1:=CONCAT(STR1,':');

```

```

STR1:=CONCAT(STR1,TmP_tostr.SS_st
);IF TR.Q THEN

```

```

ClearScreen(ScreenNum);

```

```
ShowString(ScreenNum, 0, 0,  
STR1);  
END_IF  
ELSE
```

```
ScreenNum:=1;  
SetWorkScreen(ScreenNum);  
STR2:=' 0ac1a0 0ac1a0';  
IF TR.Q THEN
```

```
ClearScreen(ScreenNum);  
ShowString(ScreenNum, 0, 0,  
STR2);  
END_  
IFEND_IF
```

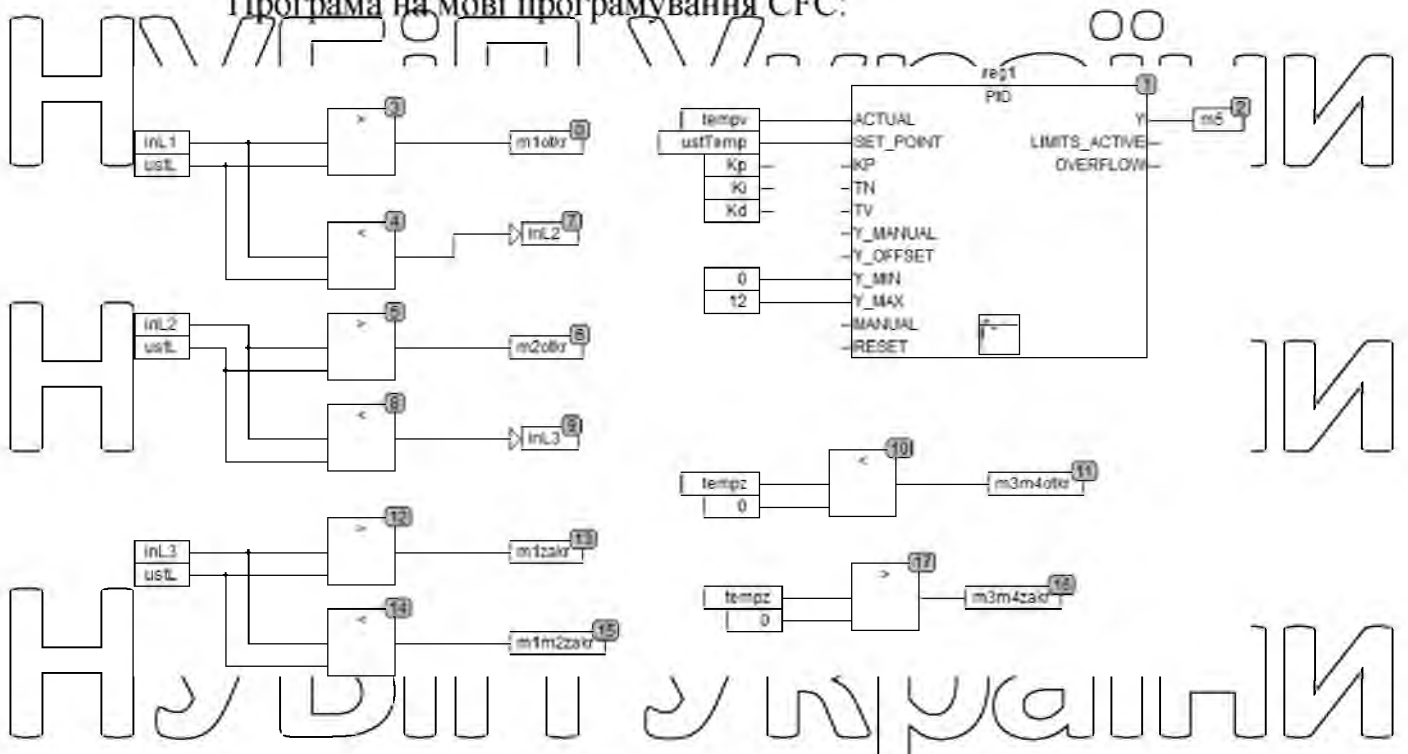
```
ustL: REAL := 8.5; (*znachenye vuhoda datchuka pr@  
40klk*)ustTemp: REAL := 120;  
m5: REAL := 12;  
Kp: REAL :=
```

```
3.356;  
Ki: REAL :=  
0.0004134;Kd: REAL  
:= 1161;
```

```
reg1:  
PID;  
END_VAR
```

```
НУБІП УКРАЇНИ
```

Програма на мові програмування CFC:



4.7. Система автоматичного керування світлом

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

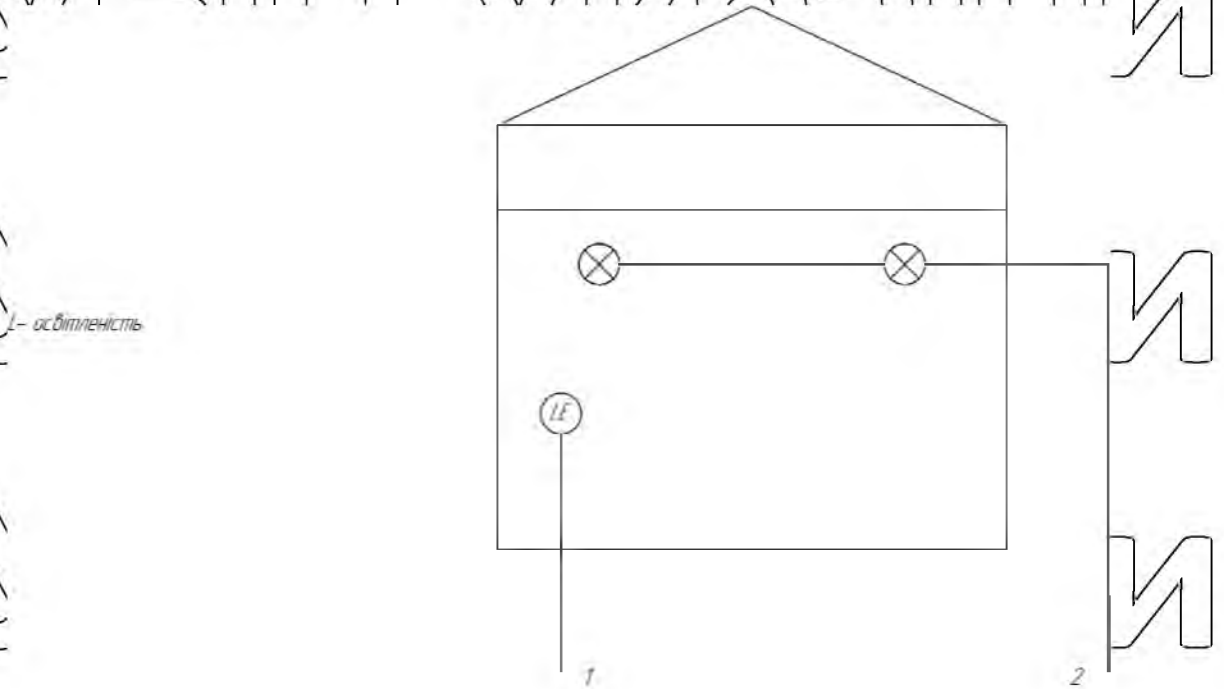
НУБІП України

Функціональна схема САК ламп зображена на рис. 3.14.

Контур №1 – датчик освітленості, який стримує дані про кількість світла в теплиці.

Контур №2 – лампи, які виконують вказівки контролера.

Освітленість можна керувати не тільки в автоматичному а і в ручному режимі HS.



IF – освітленість

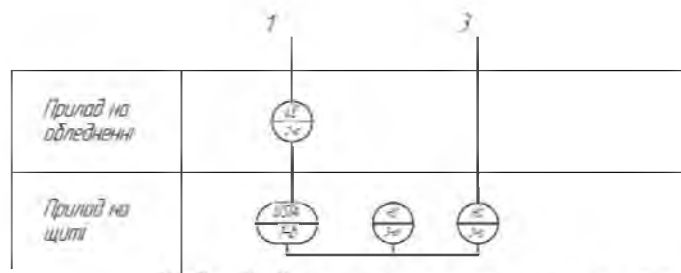


Рис.4.14

Програма для опромінення виконана в середовищі LabView для плати Arduino. Цей пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. Робоча напруга

5В. Напруга живлення 7-12В. Має

цифрові входи/виходи 14 з яких 6 можуть використовуватися в якості ЦИМ-

виходів, а також 6 аналогових входів. На платі встановлений стабілізатор напруги, тому на вхід можна передавати живлення з різних джерел. Arduino Uno

- відмінний варіант для розумних пристроїв, а також вона добре працює з різноманітними датчиками, світлодіодами, двигунами. Все що потрібно, це написана програма, яка завантажується на мікросхему через USB – з'єднання (UART-Serial).



Рис.4.15 Вигляд Arduino UNO R3.

Також обираємо датчик освітленості BH1750, який був представлений раніше на рис.4.9..

Опромінення виконують лампи “LED lamp EVRO свет” які представлені на рис.5.1.. Регулювання здійснюється завдяки програмному коду.

Програма для опромінення виконана в середовищі LabView для плати Arduino. Фрагмент програми зображено рис.4.17 та рис.4.18.

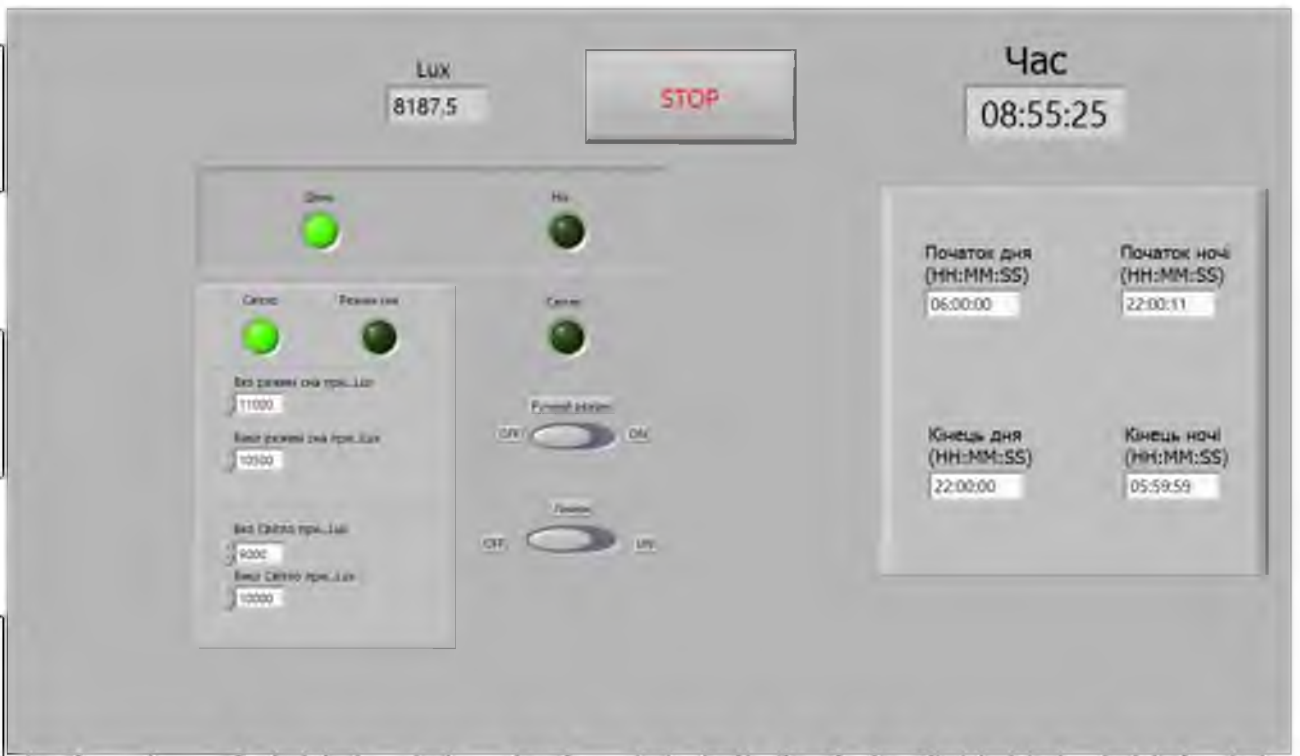


Рис.4.16 Фронтальна панель САК ламп.

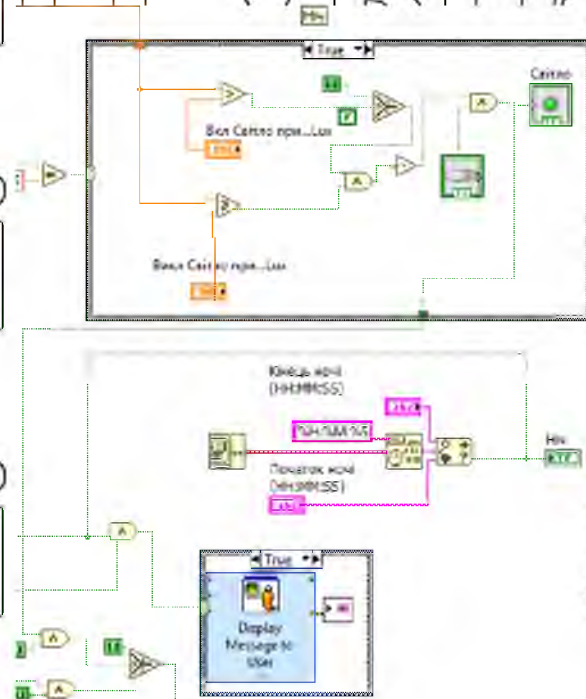


Рис.4.17 Драгмент блоку діаграми САК ламп.

РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ СПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ  
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

5.1. Побудова перехідного процесу із використанням  
імітаційного моделювання та оцінка його якості

Створюємо імітаційну модель САК з використанням ПІД-регулятора в  
програмному середовищі MATLAB Simulink:

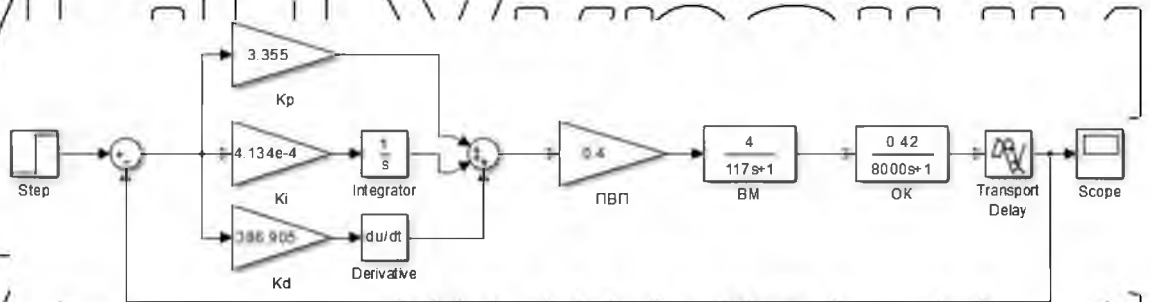


Рис. 5.1. Імітаційна модель САК процесом зашторювання з  
використанням ПІД-регулятора

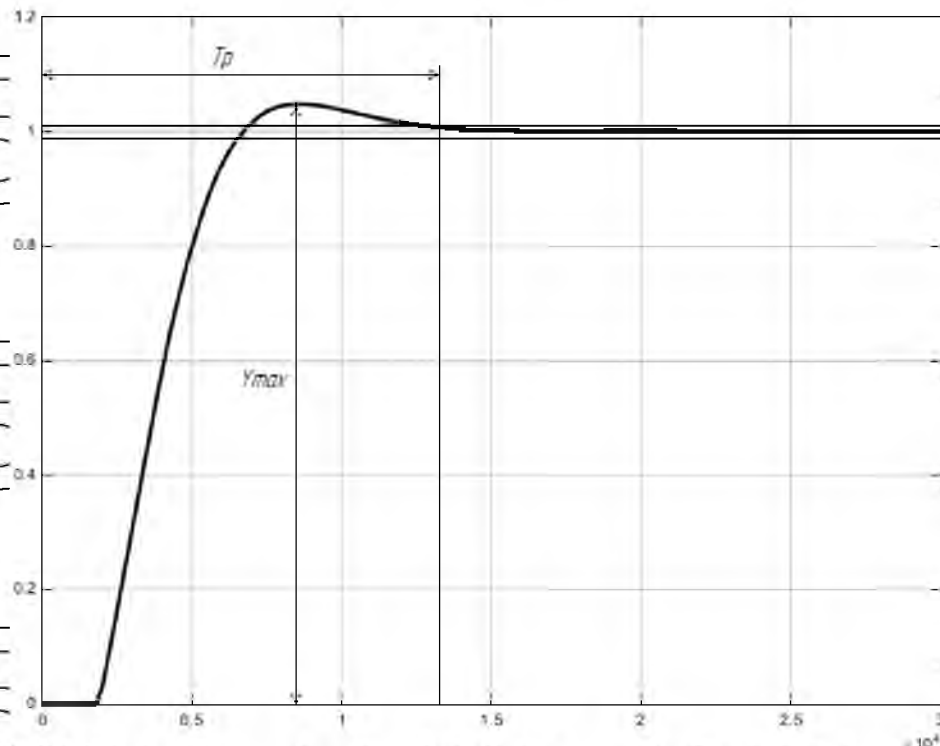


Рис. 5.2. Перехідна характеристика САК з ПІД-регулятором

Аналіз перехідного процесу показує, що  $T_{рег} = 13500с$ , перерегулювання 3%,  
коливальність  $\eta = 0$ .

Використовуючи програмне середовище MATLAB Simulink LTI будуюмо АФЧХ, АЧХ і ФЧХ розімкненої системи:

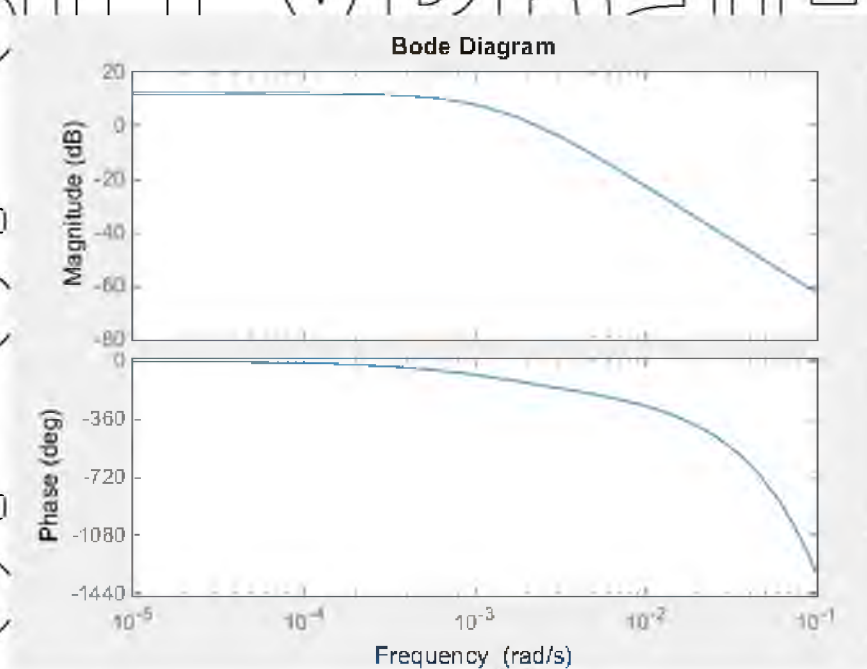


Рис.5.3. АЧХ і ФЧХ САК

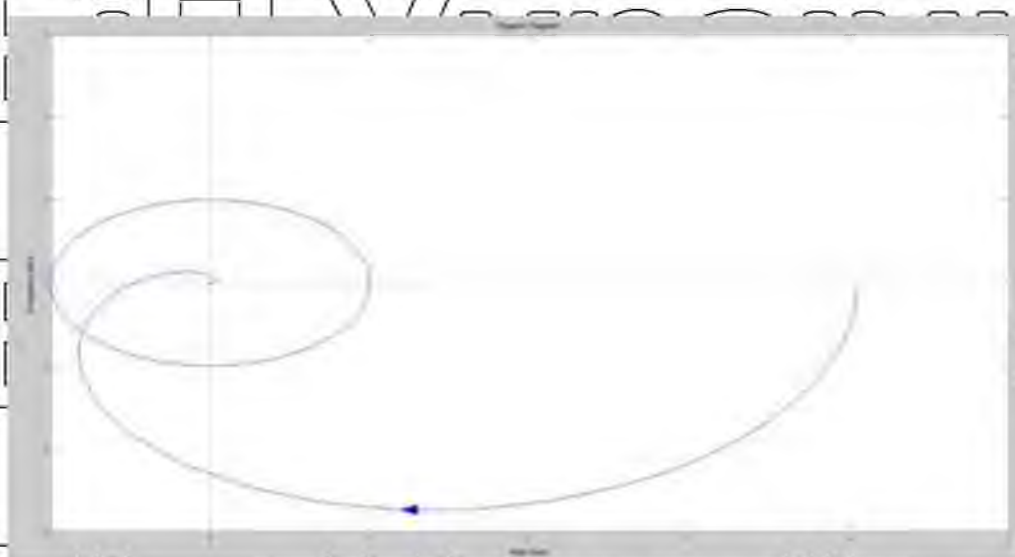
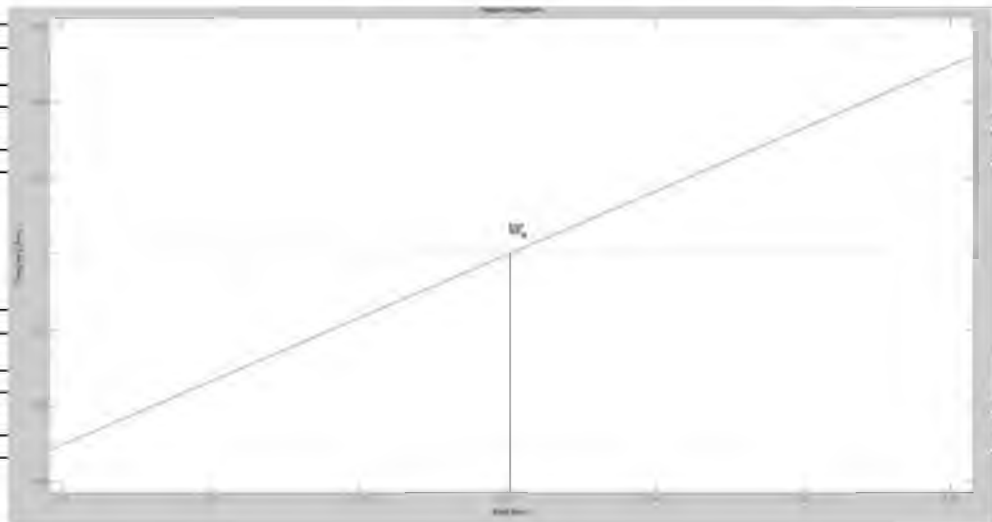


Рис. 5.4. АФЧХ системи  
Визначаємо запаси стійкості використовуючи пану АФЧХ

НУБІП



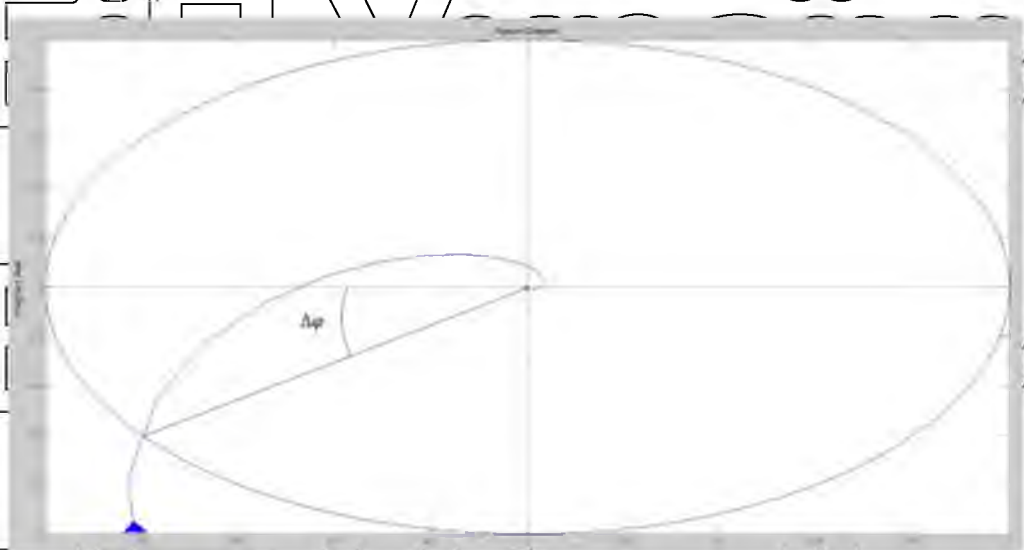
1

НУБІП

1

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{0.4695} = 20 \lg 2.13 = 7.5 \text{ - запас стійкості за амплітудою}$$

НУБІП



1

НУБІП

1

НУБІП

$$\Delta \varphi = 23^\circ \text{ - запас стійкості за фазою.}$$

Отже розроблена система стійка і не потребує введення коригувального пристрою.

України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ТА СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### 6.1 Розрахунок для ламп

Для опромінення огірків в теплиці обирають такі лампи, які дозволяють забезпечити необхідним світлом рослину.

Довжина приміщення 18000 см, Ширина 8000 см. Кількість потрібних ламп 10шт. Величина світлового потоку 4024лм.

Відстань між світильниками визначають за формулою:

$$L = \lambda * h_p$$

де  $h_p$  – розрахункова висота підвішування світильника,  $\lambda$  – відстань між світильниками.

Визначаємо кількість рядів світильників.

$$n_a = \frac{(8000 - 2 * 1.6)}{3.3} + 1 = 2 \text{ ряди}$$

Визначаємо скільки ламп потрібно в одному ряді

$$n_b = \frac{18000}{3.3} = 5 \text{ штук}$$

Загальну кількість ламп знаходимо по формулі:

$$N = n_a * n_b = 10 \text{ штук}$$

Коефіцієнт використаного світлового потоку залежить від індексу приміщення

# НУБІП України

Розрахунковий потік лампи :

$$\Phi_p = \frac{E * S * K_z * Z}{N * \eta} = 4024 \text{ lm}$$

# НУБІП України

де  $E$  – нормована освітленість робочої поверхні;  $K_z$  – коефіцієнт запасу освітлювальних установок ( $Z=1.15$ );  $N$  – кількість світильників;  $\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку, відн. од.

Отже, обираємо LED Lamp EVRO-PL-40-4100-40



Рис.6/1 Лампа LED Lamp EVRO-PL-40-4100-40

Яка має такі характеристики:

Потужність 40 Вт

Напруга живлення 165 -265 В

# НУБІП України

Світловий потік 4000 Лм

Визначаємо потужність всіх ламп:

# НУБІП України

$$P_{\text{вст}} = P_{\text{л}} * N = 400\text{Вт}$$

# НУБІП України

## 6.2. Вибір пускозахисної апаратури САК

Вибір автоматичного вимикача виконують за такими

умовами: а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

# НУБІП України

$$U_{\text{н.ав.}} \geq U_{\text{м.}} \quad (6.1)$$

де  $U_{\text{н.ав.}}$  - номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{\text{м.}}$  - номінальна напруга електромережі,

в) за номінальним струмом за умовою:

# НУБІП України

$$I_{\text{н.ав.}} \geq I_{\text{н.дв.}} \quad (6.2)$$

де  $I_{\text{н.ав.}}$  - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{\text{н.дв.}}$  - номінальний струм електродвигуна, А;

г) за номінальним струмом теплового розчіплювача:

# НУБІП України

$$I_{\text{тр.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{н.дв.}} \quad (6.3)$$

де  $I_{\text{тр.}}$  - номінальний струм теплового розчіплювача

автоматичного вимикача, А;

1,25 - коефіцієнт, враховуючий роздріб по струму спрацювання теплового розчіплювача;

# НУБІП України

д) за ступенем захисту від дотику обслуговуючого персоналу з частинами, по яким проходить струм, які знаходяться в середині корпусу, від потрапляння під корпус сторонніх твердих тіл і потрапляння в нього води, згідно ГОСТ 14254-69;

є) за кліматичним виконанням і категорією розміщення, згідно ГОСТ 1543-70 і ГОСТ 15150-69 [30, с. 254].

Для вибору автоматичного вимикача для двигуна використовуємо наступні дані:

$$U_{н.ав.} = 380В; I_{н.} = I_{н.} = 1,05 = 1,05А; I_{н.р.} = 1,05 \cdot 1,25 = 1,312А;$$

Згідно розглянутих умов (5.1; 5.2; 5.3) на нашу думку буде такий автоматичний вимикач ETI 2155707. Його характеристика:

$$U_{н.ав.} = 400В; I_{н.ав.} = 1,6А; I_{н.р.} = 10А$$

$$400В > 380В; 1,6А > 1,05А; 10А >$$

$$1,312А.$$

Умови (6.1; 6.2; 6.3) виконуються, отже автоматичний вимикач вибраний вірно.



Рис. 6.2 Зовнішній вигляд автоматичного вимикача

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

- за нормованою в ПУЕ кратності тривало допустимого струму проводу та струмів розмикачів;
- за чутливістю автоматичного вимикача до однофазного струму короткогозамикання;

НУБІП УКРАЇНИ

- за найбільшою вимикаючою здібністю автоматичного вимикача;
- за умовою не спрацювання при запуску електродвигуна.

В дипломному проекті здійснюємо перевірку лише на не спрацювання автоматичного вимикача при запуску електродвигуна.

НУБІП УКРАЇНИ

$$I_{\text{відс.р.м.}} \geq I_{\text{п.розр.}} \quad (6.4)$$

де  $I_{\text{п.розр.}}$  – розрахунковий пусковий струм, А, визначається за формулою:

НУБІП УКРАЇНИ

$$I_{\text{п.розр.}} = 1,5 \cdot I_{\text{п.}} \quad (6.5)$$

де  $I_{\text{п.дв.}}$  – пусковий струм електродвигуна, А, визначається за формулою:

НУБІП УКРАЇНИ

$$I_{\text{п.дв.}} = K_i \cdot I_{\text{н.}} \quad (6.6)$$

де  $K_i$  – кратність пускового струму;  
 $I_{\text{н.дв.}}$  – номінальний струм електродвигуна, А.

НУБІП УКРАЇНИ

$$I_{\text{п.дв.}} = 1,6 \cdot 1,05 = 1,68$$
$$I_{\text{п.розр.}} = 1,5 \cdot 1,05 = 1,575 \text{ А}$$

6 А > 1,6 А > 1,575 А

НУБІП УКРАЇНИ

Умова виконується, отже вимикач забезпечує надійну роботу схеми. Автоматичний вимикач ЕТІ 2155707:

З – кількість полюсів автоматичного вимикача; D – категорія характеристики спрацювання;

1,6 – номінальний струм, А.;

IP20 – категорія захисту –

IP20.

# НУБІП України

Для вибору автоматичного вимикача для ОВЕН 73 використовуємо

наступні дані:

$$U_{\text{е.м.}} = 220\text{В}; I_{\text{н.}} = I_{\text{н.}} = 1,04 = 1,04\text{А}; I_{\text{н.р.}} = 1,04 \cdot 1,25 = 1,3\text{А};$$

Згідно розглянутих умов (5.1, 5.2, 5.3) на нашу думку буде такий автоматичний вимикач Schneider Electric A9F73202. Його характеристика.

$$U_{\text{н.ав.}} = 230\text{В}; I_{\text{н.ав.}} = 2\text{А}; I_{\text{н.р.}} =$$

$$6\text{А } 230\text{В} > 220\text{В}; 2\text{А} > 1,04\text{А}; 6\text{А} >$$

$$1,3\text{А}.$$

Умови (6.1, 6.2, 6.3) виконуються, отже автоматичний вимикач вибраний вірно.



Рис. 6.3 Зовнішній вигляд автоматичного вимикача

НУБІП України

$$I_{н.} = 2 \cdot 1,04 = 2,08 \text{ A}$$
$$I_{н.розр.} = 1,5 \cdot 1,04 = 1,56 \text{ A}$$
$$6 \text{ A} > 1,56 \text{ A}$$

НУБІП України

Умова виконується, отже вимикач забезпечує надійну роботу схеми. Автоматичний вимикач Schneider Electric A9F73202:

2 – кількість полюсів автоматичного вимикача; В – категорія характеристики

НУБІП України

зпрацювання;

2 – номінальний струм, А;

IP20 – категорія захисту –

IP20.

НУБІП України

Для вибору автоматичного вимикача для Arduino Uno використовуємо наступні дані:

$$U_{н.м.} = 435 \text{ В}; I_{н.} = I_{н.} = 1,97 = 1,97 \text{ А}; I_{н.р.} = 1,97 \cdot 1,25 = 2,46 \text{ А};$$

НУБІП України

Згідно розглянутих умов (5.1; 5.2; 5.3) на нашу думку буде такий автоматичний вимикач Schneider Electric A9N6125. Його характеристика:

НУБІП України

$$U_{н.ав.} = 500 \text{ В}; I_{н.ав.} = 5 \text{ А}; I_{н.р.} = 6 \text{ А}$$
$$500 \text{ В} > 435 \text{ В}; 5 \text{ А} > 1,97 \text{ А}; 6 \text{ А} > 2,46 \text{ А}.$$

НУБІП України

Умови (6.1; 6.2; 6.3) виконуються, отже автоматичний вимикач вибраний вірно.

НУБІ

НИ

НУБІ

НИ

НУБІ

НИ

НУБІ

НИ



Рис. 6.4 Зовнішній вигляд автоматичного вимикача

НУБІП України

$$I_{н} = 2 \cdot 1,04 = 2,08 \text{ А}$$

$$I_{н,розр} = 1,5 \cdot 1,04 = 1,56 \text{ А}$$

$$6 \text{ А} > 1,56 \text{ А}$$

НУБІП України

Умова виконується, отже вимикач забезпечує надійну роботу схеми. Автоматичний вимикач Schneider Electric A9N6125

2 – кількість полюсів автоматичного вимикача; С – категорія характеристики зрацювання;

НУБІП України

5 – номінальний струм, А.; IP20 – категорія захвету – IP20.

Електромагнітні пускачі призначені для дистанційного пуску, зупинки та реверсу трифазних асинхронних двигунів, а також вони можуть використовуватися для автоматичного керування електродвигунами та іншим електрообладнанням.

Вибір електромагнітного пускача виконують за наступними умовами: а) за типом або серією;

б) за номінальною напругою за умовою:

$$U_{н.мп.} \geq U_{м}, \quad (6.7)$$

Де  $U_{н.мп.}$  - номінальна напруга магнітного пускача, В;

$U_{м}$  - номінальна напруга електромережі,

В; в) за номінальним струмом за умовою

$$I_{н.мп.} \geq I_{м}, \quad (6.8)$$

Де  $I_{н.мп.}$  - номінальний струм магнітного пускача, А;

$I_{м}$  - номінальний струм електромережі,

А; д) за ступенем захисту;

є) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вихідні дані для вибору електромагнітного пускача КМ1 та КМ2:

$$U_{н.мп.} = 380\text{В}; I_{н.дв.} = 1,05\text{А}; U_{м} = 220\text{В}$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача електродвигуна.

Вибираємо електромагнітний пускач ПМЛ-1200 із наступними технічними характеристиками:  $U_{н.мп.} = 380\text{В}; I_{н.дв.} = 10\text{А}; U_{м} = 220\text{В}$

$$380\text{В} = 380\text{В}; 10\text{А} > 1,05\text{А}; 220 = 220$$

Електромагнітний пускач ПМЛ-120004:

ПМЛ – серія;

1- величина пускача за номінальним струмом головного кола 10А; 2- з тепловим реле

0- ступінь захисту IP00

04- кліматичне виконання та категорія розміщення

### 6.3. Вибір проводів та кабелів САК

Переріз струмопровідної жили проводу, шнура або кабелю вибирають, виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубці (або жил багатожильного провідника), нульовий робочий провід чотири провідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають затривало допустимим струмом:

$$I_{тр. доп.} \geq I_{роз} \quad (6.9)$$

де  $I_{роз}$  - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Вихідні дані для вибору кабеля для освітлення:

$$U_d = 400 \text{ В}, I_d = 1.8 \text{ А}$$

Так як номінальний струм живлення датчику складає 1,8 А обираємо двухжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 1,5 мм<sup>2</sup> марки КВРГ та довжиною 20 м.

Вихідні дані для вибору кабеля для електродвигуна:

$$U_d = 380 \text{ В}, I_d = 0.96 \text{ А}$$

Так як номінальний струм живлення драйвера та електродвигуна складає 0.96 А обираємо трьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 1,5 мм<sup>2</sup> марки КВРГ та довжиною 15 м.

Вихідні дані для вибору кабеля для датчика освітлення:

НУБІП України

$$U_d = 5 \text{ В}, I_d = 0,02 \text{ А}$$

Так як номінальний струм живлення датчику складає 0,02 А обираємо двох жильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 1,5 мм<sup>2</sup> марки КВРП та довжиною 20 м.

Вихідні дані для вибору кабеля для живлення установки ОВЕН.

НУБІП України

$$I_{ном1} = 1,312 \text{ А}, I_{ном2} = 1,56 \text{ А}$$

Згідно із умовою (6.4) 12,92 А, обираємо чотирьох жильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил 8 мм<sup>2</sup> марки КГВВ та довжиною 10 м.

НУБІП України

#### 6.4. Розробка принципової схеми САК

Принципова електрична схема – графічний документ, який пояснює принцип роботи всієї електричної схеми.

При виконанні принципової схеми дотримуються таких правил:

- ГОСТ 2.701-84 «Схемы. Виды и типы. Общие требования к исполнению»;
- ГОСТ 2.701-74 «Правила выполнения электрических схем»;
- ГОСТ 2.708-81 «Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники» [31, с. 74].

На кнопках (S1-S4), які підключенні до мікроконтролера Arduino, можна вибрати автоматичний режим S1 (в ньому вже задано параметри для досвічування огірків), або ручний режим S2. Щоб перейти на ручний режим освітлення включаємо S2, а потім кнопку «ввімкнути світло» S3, або «вимкнути світло» S4. Контролер передасть інформацію на реле (SRD – 05VDC-8L-C) який виконає задані дії.

Фрагмент схеми опромінення САК рис. 6.5

НУБІП України

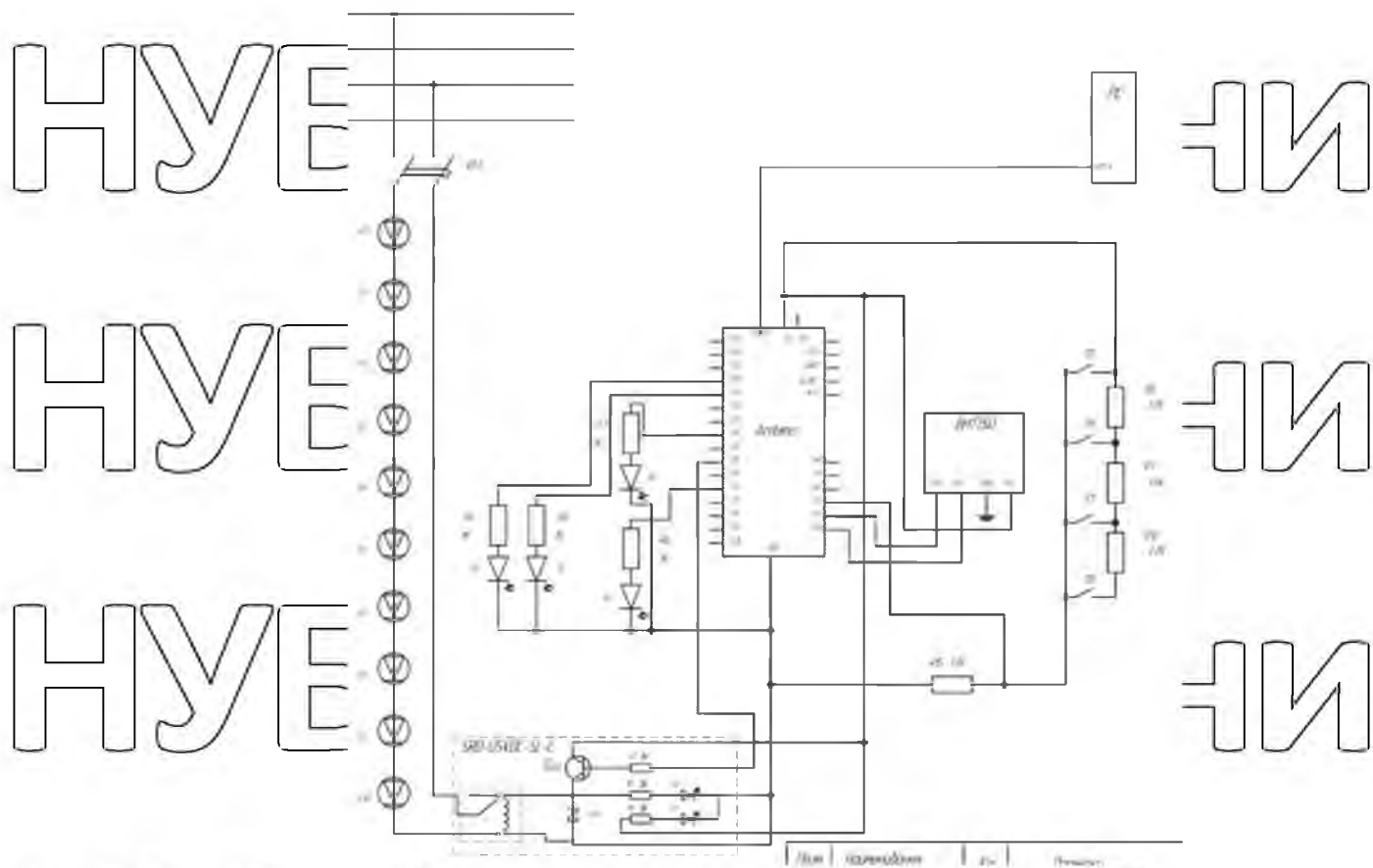


Рис. 6.5 Фрагмент схеми опромінення САК

Систему зашторювання можна одразу виконати в автоматичному режимі, але при потребі можна скористатися і ручним режимом з допомогою кнопок:

- SB1 («СТОП», ручний режим);
- SB2 («Відкрити», ручний режим);
- SB3 («Закрити», ручний режим).

Фрагмент схеми зашторювання САК рис. 6.6

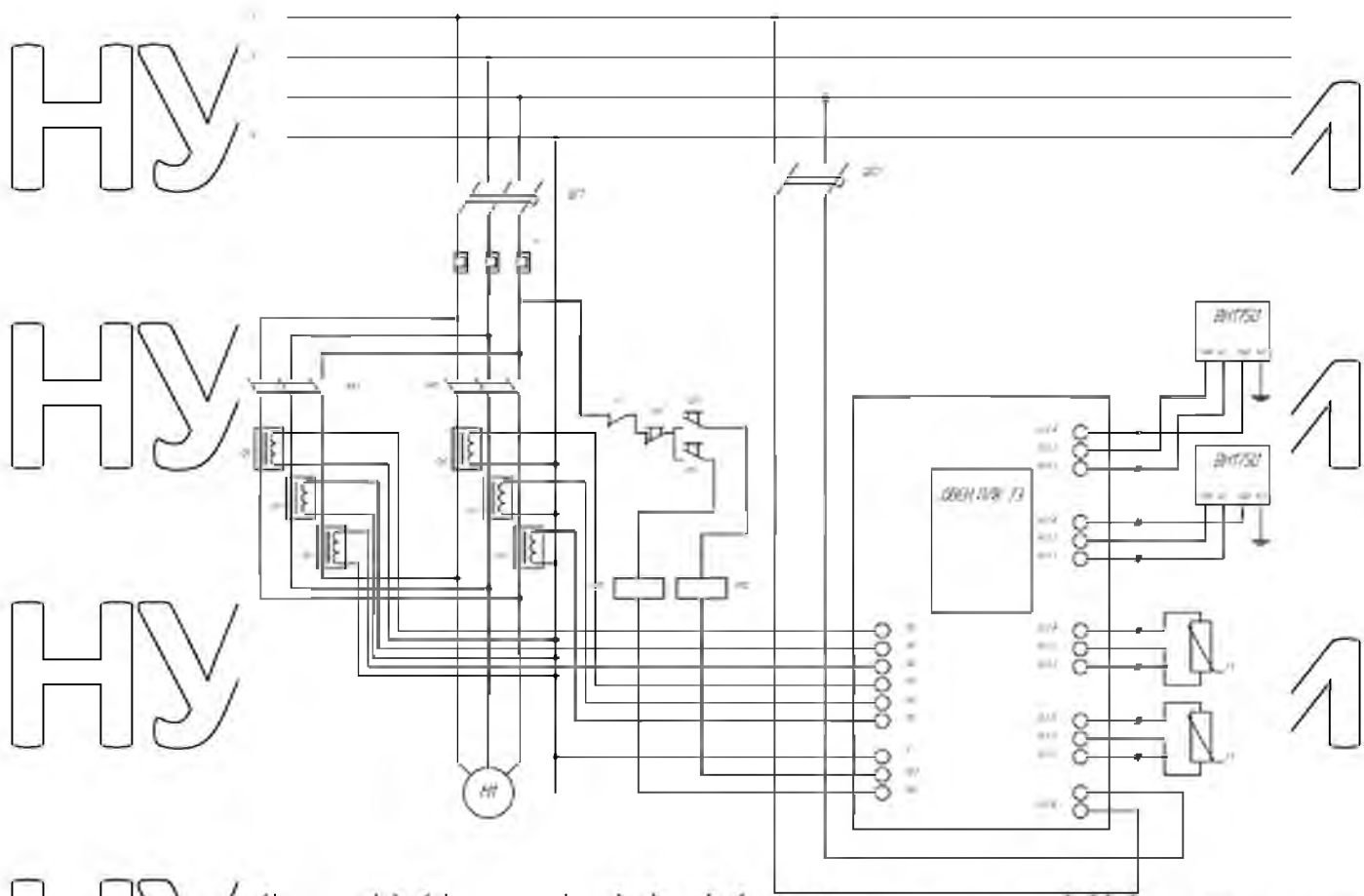


Рис 6.6. Фрагмент схеми зашторювання САК

Для більш детального огляду повної схеми дивіться в додаток А.

### 6.5. Розробка схеми з'єднань САК

Згідно з ГОСТ 2.702-75 «Правила выполнения электрических схем»

схеми з'єднань – це схеми, на яких зображують з'єднання складових частин установки або виробу. Вони розробляються на основі принципових схем живлення та використовуються під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт.

Схема з'єднань виконана на підставі таких загальних правил:

- схема з'єднань розроблена на щиту керування ПЩК-2-3П (600×380×200)У4ІР00 ОСТ 36/13 – 76 в якому розміщено всі комутуючі пристрої;
- такі елементи, як: КМ1, КМ2, було розміщено на задній панелі щита керування згідно ГОСТ 2.702-75 «Правила выполнения электрических схем» [31];

При розробці схеми було використано адресний спосіб і дотримано таких

ВИМОГ:

- передню панель, на якій розміщено авт. вимикачі QF, кнопки керування SB1-SB3, S1-S4, сигнальні лампи D1 – D4,
- на лівій бічній панелі розміщено клемник XT, який служить розв'язкою між елементами, які розташовані на передній і задній панелі.

Для детального огляду схеми дивись в додаток Б.

### 6.6. Розробка схеми підключення САК

Згідно з ГОСТ 2.702-75, схеми вмикання показують зовнішнє підключення апаратів, установок щитів, пультів і т.д. Схеми з'єднань виконують на підставі принципівих схем живлення.

На нашій схемі зображено:

- 1 – підключення до мережі;
- 2 – підключений двигун RW 1200/1600S;
- 3,4 – датчики температури 1Pt100KN 0815
- 5,6,8 – датчики освітлення ВН1750
- 7 – підключені лед лампи ЕВРОСВЕТ 40Вт.

Для детального огляду схеми дивись в додаток В.

### 6.7. Розборка щита управління САК на щиті керування розміщені:

- три автоматичні пускачі, які виконують подачу напруги на САК;
- кнопка включення автоматичного режиму;
- кнопка включення ручного управління світла;
- кнопка включення світла;
- кнопка виключення світла;
- «Відкрити» кнопка включення ручного управління зашторювання;
- «Закриття» кнопка включення ручного управління зашторювання;
- «СТОП» кнопка зупинка зашторювання;
- світлодіод, що підтверджує роботу режиму «День»;
- світлодіод, що підтверджує роботу режиму «Ніч»;
- світлодіод, що вказує на те що увімкнене ручне управління;
- світлодіод, що вказує на те що лампи увімкнені. Детальне зображення схеми щита дивись в додаток Д.

## 6.8. Розробка показників надійності САК

Системи електрифікації та автоматизації сільськогосподарського призначення експлуатуються в особливих виробничих умовах: підвищена вологість, наявність агресивного середовища, складні температурні режими,

вібрація та ін. Це накладає на них підвищені вимоги щодо надійності та відповідності вимогам технологів, оскільки вказані системи обслуговують біологічні об'єкти. Надійність визначають як властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних

показників у заданих межах. Основним питанням в теорії надійності є відмова

— це повна або часткова втрата працездатності та порушення нормального функціонування об'єкта, внаслідок чого його характеристики не відповідають певним вимогам. Відмова завжди розглядається як функція часу, яка з певною ймовірністю може існувати в будь-який момент часу, тобто момент появи відмови може розглядатись як безперервна функція. Проте одночасна відмова — це величина дискретна.

Розрізняють відмови трьох видів:

- припрацьовані є наслідком невідпрацьованих технологій та неякісного контролю виробів у процесі їх виробництва;
- спрацьовані є наслідком старіння окремих компонентів виробів;
- раптові виникають випадково, виключити їх появу нелегко.

Ймовірність безвідмовної роботи  $p(t)$  — це ймовірність того, що в заданому інтервалі часу при заданих режимах і умовах роботи не виникає відмови виробу. Ймовірність безвідмовної роботи — це статистичний показник, що визначається за формулами:

$$N_{np}(t) = N(t), \quad (6.13)$$

де  $N(t)$  — кількість виробів, що безвідмовно пропрацювали до кінця напрацювання;

$N(t)$  — початкова кількість виробів, або  $p(t)$  може бути розрахованим і так.

$$N(t) = e^{-k \lambda t}, \quad (6.14)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища (для нормальних лабораторних умов  $k=1$ ;

для стаціонарних установок сільськогосподарського

виробництва  $k=10...15$ ; для мобільних агрегатів  $k=25...30$ );

$\lambda$  – інтенсивність відмови, що наведена в технічній документації на вироби,  $t$  – час експлуатації [30].

Таблиця 6.1

| Найменування виробу    | Кількість шт. | Інтенсивність відмов елемента $10^6, 1/\text{год.}$ | Результуюча інтенсивність відмов, $10^6, 1/\text{год.}$ |
|------------------------|---------------|---|---|
| Led Lamp               | 10            | 0.57  | 5.6   |
| Реле                   | 1             | 0.250   | 0.24  |
| Вимикач                | 3             | 0.063   | 0.182   |
| Двигун змінного струму | 1             | 5.23  | 4.96  |
| Інтегральні мікрохеми  | 2             | 0.1   | 0.23  |
| Резистори              | 11            | 0.3   | 2.9   |
| Датчик                 | 5             | 0.1   | 0.4   |
| Теплові вимикачі       | 1             | 0.1375  | 0.1375  |
| Сума                   |               |   | $\Sigma = 15,51 \cdot 10^6 1/\text{год.}$               |

Визначається час напрацювання на відмову  $T_{\text{напр.}}$ , год., за формулою

$$T_{\text{напр}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}}, \quad (6.15)$$

де  $\lambda_{\Sigma}$  - інтенсивність відмов схеми автоматичного керування,  $1/\text{год}$ .

$$T_{\text{напр}} = \frac{1}{15,51} * 10^{-6} = 64500 \text{ год.}, \quad (6.16)$$

Визначається вірогідність безвідмовної роботи схеми  $P(t)$ , за формулою

$$P(t) = e^{-k\lambda_{\Sigma}t_x} \quad (6.17)$$

де  $k$  - поправочний коефіцієнт, який враховує вплив зовнішнього середовища;

$\lambda_{\Sigma}$  - інтенсивність відмов схеми автоматичного керування,  $1/\text{год}$ .;  
 $t_x$  - час роботи, для якого визначаються параметри надійності, год.  
 Згідно довідкової літератури приймаємо для стаціонарних установок  $t_x=1000$  год.

$$P(t) = e^{-15,51 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,97 \quad (6.18)$$

Отже система при експлуатації буде працювати досить надійно, так як показники вірогідності безвідмовної роботи знаходяться в встановлених межах (від 0,95 до 0,99).

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗОНАНСНО-ПЕРІОДИЧНОГО РЕЖИМУ ОПРОМІНЕННЯ

### 7.1 Дослідження впливу на рослинні біосистеми різних режимів резонансно-періодичного опромінення

Дослідженнями встановлено, що при вирощуванні огірків оптимальним є використання ритмічного освітлення на резонансній частоті  $T=60$  хвилин; що пов'язано з особливостями регуляції продигових апертур, при відношенні тривалості світлової фази до тривалості періоду  $m \cong 0,5$ , що відповідає найнижчій витраті енергії на створення одиниці сухої маси рослини з її ж площини. Слід зауважити, що при застосуванні режиму РПО в умовах теплиць, навіть при експериментах з малим значенням  $m$ , дуже рідко спостерігалось зменшення змісту хлорофілу в рослинах, яке спостерігається зазвичай при такому режимі в умовах камер та фітотронів, пересвідчиться у чому, можна навіть при візуальних спостереженнях, що легко пояснюється наявністю природної освітленості при вирощуванні розсади в умовах споруд захищеного ґрунту. Цей факт тільки підтверджує актуальність рекомендації сполучення режиму РПО з фоновим постійним опроміненням, що гарантовано запобігає депігментації.

Проте, постає питання про ефективність використання рослинами світлової енергії, оскільки широко відомим є факт спадання ступеня прискорення процесів фотосинтезу при нарощуванні рівня опромінення рослин, особливо при наявності лімітуючих факторів, що призводить до різкого підвищення витрат енергії при нарощуванні сухої маси, як мінімум, при підтриманні сталого рівня опромінення. Для визначення ефективності різних варіантів режиму РПО було проведено експериментальне дослідження, яке провадилося у тепличному господарстві агрофірми "Овощевод" (м. Мелітополь) в експериментальній теплиці (акт впровадження наведено у додатку В), яку було поділено на чотири секції площиною у  $100 \text{ м}^2$  кожна. Як джерела опромінення були використані ртутні лампи високого тиску ДРЛФ-400 з розташуванням з розрахунку  $250 \text{ Вт/м}^2$  встановленої потужності, що створювали максимальну опроміненість (без урахування природної) близько  $16 \text{ фт/м}^2$ . Опроміненню підлягала розсада огірків ГСХА-77 у віці 12 діб (після розстановки), що були розташовані з щільністю 25 рослин на  $1 \text{ м}^2$ , на протязі 20 діб з тривалістю світлового періоду 13 годин на добу.

При проведенні досліду фіксувалося:

1. енерговитрати за період вирощування розсади на протязі 20 діб за показаннями лічильника з перерахуванням на одиницю площі;
2. середній приріст сухої маси рослин за цей період.

За цими показниками розраховувалися енерговитрати на створення 1 кг сухої маси за формулою.

$$Q = \frac{W^*}{M \cdot N \cdot 10^{-3}} \quad (7.1)$$

де  $W^*$  - енерговитрати на одиницю площі, кВт·год/м<sup>2</sup>;

$M$  - середній приріст маси рослини, г;

$N$  - щільність висадки рослин, 1/м<sup>2</sup>.

Дослід проводився на протязі жовтня - березня сезону 1997/98 років за допомогою АСУТІ опроміненням рослин, рис 4.1. У табл. 4.1 наведено дані про умови природної освітленості. Яка впливала на інтенсивність фотосинтезу. Рівень потужності ФАР у 30 Вт/м<sup>2</sup> взято, як мінімально необхідний для фотосинтезу для розсади огірків.

Таблиця 7.1 - Умови природної освітленості у Запорізькій області.

| Місяць  | X    | XI   | XII | I     | II   | III  |
|---|------|------|-----|-------|------|------|
| Кількість годин з ФАР ≥30 Вт/м <sup>2</sup> середньорічна | 7-8  | 5-6  | 4-5 | 5-6,5 | 6-7  | 9-10 |
| У 1997-1998 р.р.  | 7,5  | 6,0  | 4,0 | 5,0   | 7,0  | 9,5  |
| Астрономічна довжина дня на 15 число кожного місяця       | 11,0 | 10,0 | 9,0 | 9,5   | 10,5 | 12,0 |

В першому варіанті рівень штучного опромінення змінювався з 16 фт/м<sup>2</sup> на 8 фт/м<sup>2</sup> з періодом 60 хвилин без урахування природної освітленості.

В другому варіанті, для врахування рівня природної освітленості, лампи, що створювали постійну складову, було розбите на 3 групи, що дозволяло змінювати штучну освітленість фонового рівня в залежності від природного фону за допомогою пристрою УРПОР 0,5-4-02, який було оснащено блоком фіксації природної освітленості, з метою забезпечення умов:

$$F_{\text{фон}} = F_{\text{шт.}} + F_{\text{прир}} = \text{const}, \quad (7.2)$$

де  $F_{\text{фон}}$  - значення постійної складової сумарної освітленості;

$F_{\text{шт.}}$  - штучна складова постійного освітлення, що регулюється;

$F_{\text{прир.}}$  - природна складова постійного освітлення, що регулюється.

При цьому для виключення впливу короточасних коливань природної освітленості проводилося обчислення середньої освітленості за формулою:

$$F_{\text{прир}} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} f \, dt, \quad (7.3)$$

де  $f$  - поточне значення освітленості, фт/м<sup>2</sup>;

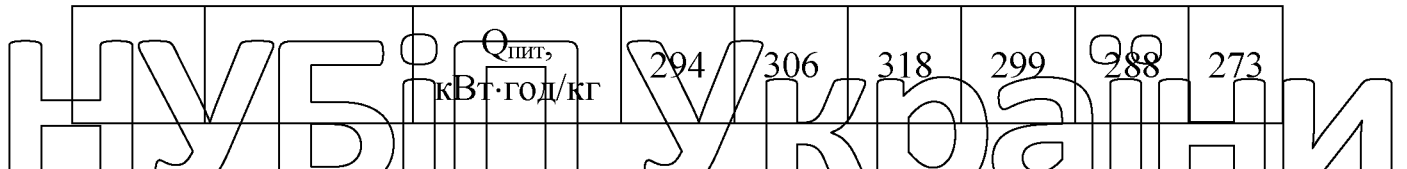
$T$  - період усереднення.

Слід прийняти період усереднення близько 30 хвилин, оскільки період найбільших коливань природної освітленості, пов'язаний з проходженням хмар, складає біля 10 хвилин.

У табл. 7.1 наведено результати для незмінного фону штучного опромінення  $16 \text{ фт}/\text{м}^2$  (а також для режиму РПО зі зміною рівня опромінення з  $16 \text{ фт}/\text{м}^2$  до 0 і навпаки з періодом 60 хвилин). На рис. 7.1. відображено питомі енергозатраты при цих режимах. Як бачимо, перевага врахування природного фону освітлення є найбільш помітною у місяцях з відносно високими рівнями цього фону: економія енергії на створення 1 кг сухої маси складає у березні майже 9 відсотків, в той час, як у трудні вона незначна, що пов'язано з малим фоном природної освітленості в цей місяць, як показано в табл. 7.1

Таблиця 7.1 - Економічність застосування різних режимів РПО.

| Режими  |                                | Місяць | X    | XI   | XII  | I    | II   | III  |
|---|--------------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Постійне освітлення $16 \text{ фт}/\text{м}^2$                                  | $W$ ,<br>кВт·год/ $\text{м}^2$ |        | 65   | 65   | 65   | 65   | 65   | 65   |
|   | $M$ ,<br>кг· $10^{-3}$         |        | 4,4  | 4,2  | 3,9  | 4,1  | 4,3  | 4,6  |
|   | $Q_{\text{пит}}$ , кВт·год/кг  |        | 591  | 619  | 667  | 634  | 605  | 565  |
|   | $W$ ,<br>кВт·год/ $\text{м}^2$ |        | 57,3 | 57,3 | 57,3 | 57,3 | 57,3 | 57,3 |
|   | $M$ ,<br>кг· $10^{-3}$         |        | 7,9  | 7,6  | 7,3  | 7,8  | 8,0  | 9,0  |
|   | $Q_{\text{пит}}$ , кВт·год/кг  |        | 290  | 302  | 313  | 294  | 286  | 254  |
| Режим РПО з врахуванням природного фону освітлення $16/8 \text{ фт}/\text{м}^2$ | $W$ ,<br>кВт·год/ $\text{м}^2$ |        | 47,1 | 49,3 | 53,1 | 49,6 | 46,4 | 39,5 |
|   | $M$ ,<br>кг· $10^{-3}$         |        | 6,75 | 6,75 | 6,8  | 6,8  | 6,75 | 6,8  |
|   | $Q_{\text{пит}}$ , кВт·год/кг  |        | 279  | 292  | 312  | 291  | 275  | 232  |
|   | $W$ ,<br>кВт·год/ $\text{м}^2$ |        | 38,2 | 38,2 | 38,2 | 38,2 | 38,2 | 38,2 |
|   | $M$ ,<br>кг· $10^{-3}$         |        | 5,2  | 5,0  | 4,8  | 5,1  | 5,3  | 5,4  |
|   |                                |        |      |      |      |      |      |      |



Отже режим РПО з врахуванням природної складової фонового освітлення є найбільш ефективним з точки зору енергозбереження.

На рис. 7.1 відбита залежність витрат електроенергії при контрольному та оптимальному режимі РПО.

НУБІП України

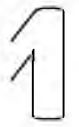
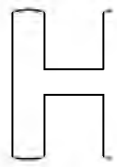
НУБІП України

НУБІП України

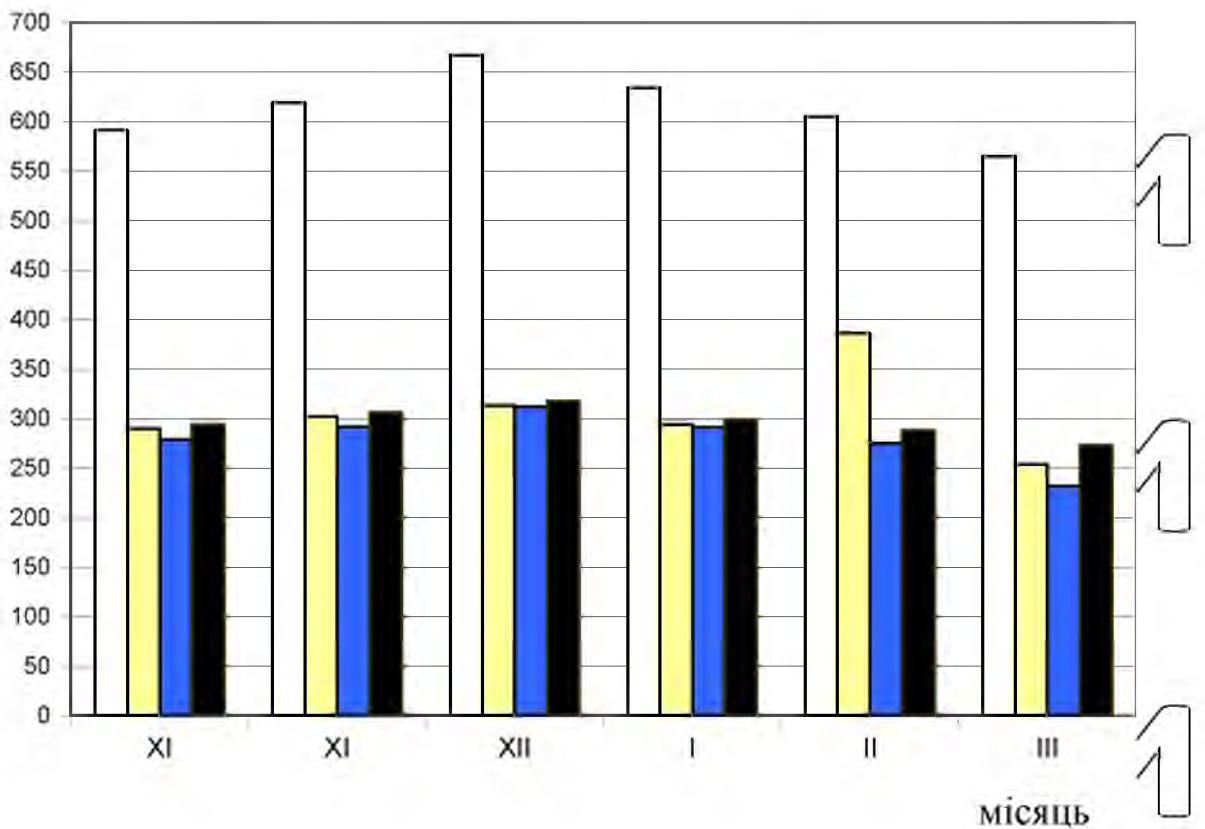
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



Q, кВт г/м



□ 16 фт/м<sup>2</sup>

■ 16/8 фт/м<sup>2</sup>

■ 16/8 фт + фон/м<sup>2</sup>

■ 16/0 фт/м<sup>2</sup>

Рис. 7.1 Діаграма питомих енерговитрат при різноманітних режимах РПО.

Різні терміни проходження фенофаз, істотні розходження в біометричних даних у накопиченні сухої і сирої мас рослини в розсадний період не могли не вплинути на динаміку надходження врожаю огірків (рис. 7.2)

Отримані результати показують, що найбільша врожайність була отримана від рослин, що одержали в розсадний період РПО-24,1 кг/м<sup>2</sup>, що на 40% вище в порівнянні з врожайністю при постійному опроміненні.

НУБІП України

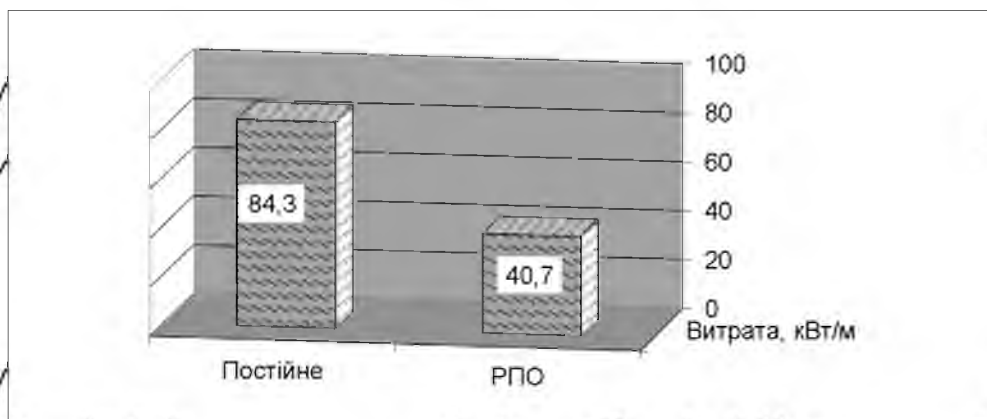


Рис. 7.1 Витрата електроенергії при постійному опроміненні і РПО.

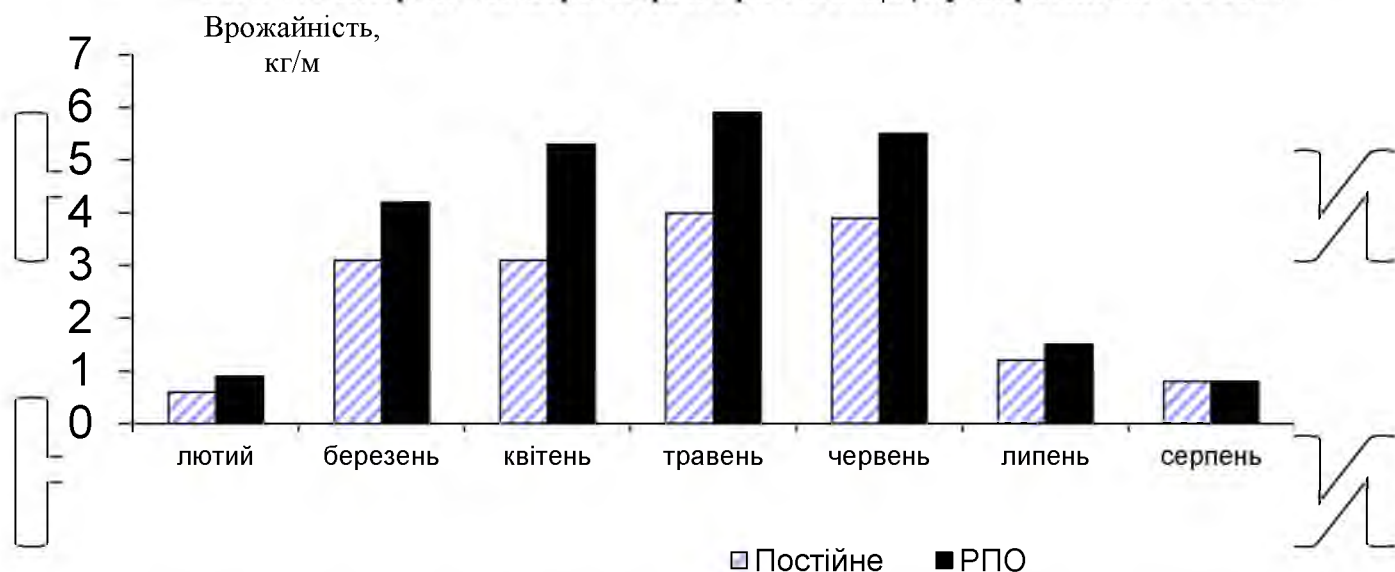


Рис. 7.2 Динаміка надходження врожаю.

На рис. 7.3 надана діаграма середньої врожайності за два обороти рослини огірка при постійному опроміненні і РПО.

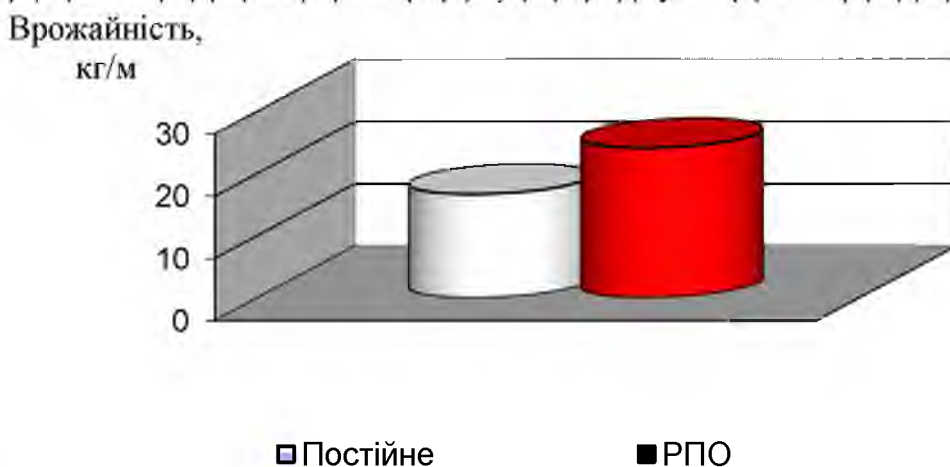


Рис. 7.3 Середня врожайність за два обороти рослин огірка гібрида "Сандра" при постійному опроміненні і РПО.

Таким чином, вплив РПО не обмежився безпосереднім терміном своєї дії в розсадний період, позитивний його вплив зберігся аж до плодоношення, коли рослини знаходилися в природних світлових умовах. Якісна, добре розвинута розсада, що має

велику асиміляційну поверхню, товсте стебло, потужну кореневу систему, обумовила високі темпи росту дорослих рослин, утворення раннього врожаю і в більшій кількості. Рослини, що у розсадний період вирощувались при постійному додатковому опроміненні, після висадки на постійне місце декілька уповільнювалися в рості і розвитку, що відомо на термінах цвітіння і плодоносіння. Цей факт, на наш погляд, можна пояснити тим, що такі рослини не були готові до умов зниженого природного опромінення в ранкові і вечірні години. Процес адаптації затримував ріст та розвиток цих рослин.

## 7.2 Техніко-економічна ефективність впровадження резонансно-періодичного режиму опромінення

При безперервному вирощуванні розсади в загальному циклі розвитку рослин економічний ефект від впровадження режиму РПО рослин за рік буде складатися як:

$$E_{\text{год}} = \Delta D + \Delta B_{\text{e}} + \Delta B_{\text{p}} - \Delta A_0, \quad (7.4)$$

де  $\Delta D$  - додатковий прибуток за рахунок збільшення врожайності, грн;  
 $\Delta B_{\text{e}}$  - вартість електроенергії, зекономленої за рахунок зменшення енергопотреблення протягом усього терміна вирощування розсади за рік, грн.;

$\Delta B_{\text{p}}$  - економія засобів, що витрачаються на вирощування розсади, за рахунок скорочення терміна її вирощування, грн.;

$\Delta A_0$  - амортизаційні відрахування на нове обладнання, грн.;

Додатковий прибуток, отриманий за рахунок збільшення врожайності, може бути визначений як:

$$\Delta D = \sum (R_{pi} - R_i) \cdot S \cdot C_i, \quad (7.5)$$

де,  $R_{pi}$  і  $R_i$  - відповідно врожайність огірків при резонансно-періодичному опроміненні і при постійному опроміненні за 1-й місяць із 1м<sup>2</sup>, кг.;

$S$  - площа теплиці, м<sup>2</sup>;

$C_i$  - середня ціна 1 кг. огірків за і-й місяць, грн.;

Дані про врожайність, ціну і розрахунок  $(R_{ip} - R_i) \cdot C_i$  приведені в табл.7.2.

Таблиця 7.3 - Динаміка надходження врожаю огірків і їхньої ціни за сезон

| Показники                              | Місяць |          |         |         |        |         |         | Разом |
|--|--------|----------|---------|---------|--------|---------|---------|-------|
|  | лютий  | березень | квітень | травень | липень | черпень | серпень |       |
| Врожайність При постійному опроміненні | 0,6    | 3,1      | 3,1     | 4,0     | 3,9    | 1,2     | 0,8     | 16,7  |

|  |         |     |     |      |      |      |      |     |       |
|--|---------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-------|
|  | При РПО | 0,9 | 4,2 | 5,3  | 5,9  | 5,5  | 1,5  | 0,8 | 24,8  |
| Ціна реалізації  |         | 5,0 | 3,0 | 2,2  | 2,2  | 1,9  | 1,4  | 1,3 | -     |
| Додатковий прибуток<br>с 1 м <sup>2</sup> (R <sub>ip</sub> - R <sub>i</sub> ) · C <sub>i</sub> |         | 1,5 | 3,3 | 4,84 | 4,18 | 3,04 | 0,42 | 0   | 17,28 |

Таким чином, для теплиці середньою площею 2 га,

$$\Delta D = 17,28 \cdot 1,2 \cdot 10^4 = 207360 \text{ грн.}$$

Економія електричної енергії за термін вирощування розсади:

$$\Delta B_e = \frac{\Delta E}{100} \cdot V \cdot P_B \cdot S_p \cdot t_d \cdot (T - \Delta T), \quad (7.6)$$

де,  $\Delta E$  - економія електроенергії при введенні РПО, %;

$V$  - вартість 1 кВт·ч., грн;

$P_B$  - питома встановлена потужність, кВт/м<sup>2</sup>;

$S_p$  - площа розсадного відділення, м<sup>2</sup>;

$t_d$  - тривалість опромінення за часом, година. ;

$N$  - кількість днів зняття врожаю;

$\Delta N$  - скорочення терміна вирощування однієї партії розсади, днів.

По отриманим даним,  $\Delta E = 48\%$ ,  $V = 0,15 \text{ грн/кВт}\cdot\text{ч.}$ ;

$P_B = 0,4 \text{ кВт/м}^2$ ;  $t_d = 14 \text{ ч.}$ ;  $S_p = 500 \text{ м}^2$ ;  $N = 210$ ;  $\Delta N = 6$ .

Тоді:

$$\Delta B_e = 0,48 \cdot 0,15 \cdot 0,4 \cdot 500 \cdot 14 \cdot (120 - 6) = 22982,4 \text{ грн.}$$

Економія засобів за рахунок скорочення термінів вирощування розсади можна визначити як:

$$\Delta B_p = V \cdot P_e \cdot S_p \cdot t_d \cdot \Delta N \quad (7.7)$$

Оскільки при наявності розсадного відділення заощаджується тільки енергія на опромінення,

$$\Delta B_p = 0,15 \cdot 0,4 \cdot 500 \cdot 14,6 \cdot 6 = 2628 \text{ грн.}$$

$$\Delta A_o = a \cdot K_y \quad (7.8)$$

де  $a$  - норма амортизаційних відрахувань на нове обладнання,  $a = 0,15$ ;

$K_y$  - вартість способів керування, 8240 грн.

$$\Delta A_o = 0,15 \cdot 8240 = 1236 \text{ грн.}$$

Тоді річний економічний ефект від упровадження РПО:

$$E_{\text{годовое}} = 207360 + 22982,4 + 26289 - 1236 = 231734,4 \text{ грн.}$$

або з перерахунку на 1 га. :

$$E_{\text{годовое}}^* = \frac{E_{\text{годовое}}}{S} \quad (7.9)$$

де,  $S$  - загальна площа теплиці, га;

$$E_{\text{годовое}}^* = \frac{231734,4}{1,2} = 193112 \text{ грн}$$

Таким чином, рослини огірків у розсадний період при РПО по всіх параметрах значно перевершували рослини, вирощені при постійному опроміненні.

РПО дозволило прискорити вихід готової до зростання розсади, незважаючи на меншу витрату електричної енергії в порівнянні з постійним опроміненням,

Таблиця 7.4 - Використання електроенергії при РПО і постійному опроміненні.

| Опромінення           | Удільна потужність, Вт/м <sup>2</sup> | Витрати електроенергії      |                     |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------|
|                       |                                       | Удільна, кВт/м <sup>2</sup> | На рослину, кВт·год |
| Постійно              | 240                                   | 84,3                        | 1,05                |
| РПО                   | 240                                   | 40,7                        | 0,50                |
| РПО в % до постійного | -                                     | 48                          | 53                  |

Додаткові капіталовкладення на вирощування РПО розсади:

$$\Delta K = K_C + K_{II} + K_y, \quad (7.10)$$

де,  $K_C$  - вартість переустаткування електричного ланцюга, грн.;

$K_{II}$  - вартість переустаткування і наладки пускозахисної апаратури, грн.;

$$K_C = 45400, K_{II} = 35150, K_y = 8240,$$

Тоді:

$$\Delta K = 45400 + 35150 + 8240 = 88790 \text{ грн.}$$

Таким чином, термін окупності капіталовкладень:

$$T = \frac{\Delta K}{E_{\text{годовое}}} \quad (7.11)$$

$$T = \frac{88790}{231734,4} = 0,38260$$

Очевидно, що капіталовкладення будуть ефективними, якщо існує  $m$ -позитивне рішення рівняння:

$$K_o(1 + \Delta)^m = \frac{m}{T} K_o, \quad (7.12)$$

де,  $K_o$  - сума кап. вкладень, грн.;

$T$  - термін окупності кап. вкладень, років.

$\Delta$  - процентна ставка банку на вільні внески юридичної особи, розміщені в банку (у випадку напрямки на модернізацію власних потреб) або процентна ставка банку, на що видається кредит (у випадку притягнення кредитних засобів), виражена в частках одиниці за рік.

Рівняння (10) при скороченні на  $K_o$

$$(1 + \Delta)^m = \frac{m}{T} \quad (7.13)$$

є трансцендентним і не може бути дозволене в радикалах. Рівняння (21) може бути вирішене графічно, однак, з обліком того, що споконвічним є самий факт наявності позитивного рішення  $m$ , можна скористатися розкладанням вираження в лівій частині в ряд Маклорена, обмежившись першими трьома членами ряду:

$$1 + \frac{m}{1!} \Delta + \frac{m(m-1)}{2!} \Delta^2 = \frac{m}{T}, \quad (7.14)$$

або

$$\frac{\Delta^2}{2} m^2 + \Delta - \left( \frac{1}{T} + \frac{\Delta^2}{2} \right) \cdot m + 1 = 0, \quad (7.15)$$

Це рівняння має рішення, якщо:

$$\left( \Delta - \frac{1}{T} - \frac{\Delta^2}{2} \right)^2 - 2\Delta^2 > 0, \quad (7.16)$$

З огляду на, що при наявності позитивного рішення, вираження в квадратних скобках у (23) негативне і те, що  $\Delta > 0$ , одержуємо:

$$\Delta - \frac{1}{T} - \frac{\Delta^2}{2} < -\Delta\sqrt{2}, \quad (7.17)$$

$$\frac{1}{T} > \Delta(\sqrt{2} + 1) - \frac{\Delta^2}{2}, \quad (7.18)$$

враховуючи, що при наявності позитивного рішення, вираження в квадратних скобках у (23) негативне і те, що , отриманій ставки НБУ 34%,  $\Delta = 0,72$ , одержимо

$$1 / (0,72 \cdot (1,414 + 1) - 0,72^2 / 2) = 0,68.$$

а при варіанті напрямки власних грошей, при  $\Delta = 0,15$ , одержимо:

$$1 / (0,15 \cdot (1,41 + 1) - 0,15^2 / 2) = 2,85$$

Таким чином, при обох варіантах одержуємо що впровадження РПО буде економічно вигідним.

# НУБІП України

## ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу шляхів енергозбереження при електроопроміненні рослин в умовах захищеного ґрунту встановлено, що зниження енерговитрат, які складають до 60% собівартості овочів, можна забезпечити двома шляхами: максимальним використанням керуючих впливів та оптимізацією енергетичних впливів.
2. Проаналізовано можливість зниження витрат енергії в спорудах захищеного ґрунту шляхом узгодження режимів роботи опромінюючих установок з потребами рослини, на підставі чого отримано, що для вибору оптимальних умов вирощування сільськогосподарських культур необхідно враховувати інформацію про їхній стан, розглядаючи рослину як об'єкт регулювання і розробляти відповідну систему регулювання параметрів навколишньої середовища як систему зі зворотним зв'язком.
3. Експериментальні дослідження резонансно-періодичних режимів електричного опромінення (РПО) рослин огірків дозволили встановити, що максимальна активація росту та розвитку рослин відбувається при РПО з періодом  $T=3600$ с, рівнем опроміненості від  $15 \text{ Вт/м}^2$  до  $35 \text{ Вт/м}^2$ ; оптимальним як з точки зору отримання найбільш розвинених рослин, так і з точки зору мінімізації питомих енерговитрат є значення еквівалентності світлової фази, близькі до 5.
4. Експериментальні дослідження виявили високий позитивний вплив РПО на рослини огірків в умовах захищеного ґрунту, що підтверджується зниженням енерговитрат на створення сухої маси рослин у порівнянні з постійним опроміненням рослин на 53%; встановлено, що режим РПО з врахуванням природної складової фонового освітлення є найбільш ефективним з точки зору енергозбереження: додаткова економія енергії на створення 1 кг сухої маси може досягати 9%.
5. Техніко-економічні розрахунки показали, що річний економічний ефект від застосування РПО рослин огірків складає біля 215364 гривень, термін окупності капітальних вкладень дорівнює 0,41 року.

НУБІП України

НУБІП України

## Список литературы

1. Листов П.Н., Свентицкий И.И. Поисковые инженерные исследования в сельскохозяйственной биоэнергетике // Мех и электр. соц. сел. хоз. - ва. - 1972. - №11. - С. 9-11.
2. Свентицкий И.И. О развитии биоэнергетических основ агроэнергетики // Механизация и электрификация сел. хоз. - ва. - 1983. - №5 - С.54-57.
3. Blairo F. Les perspectives et les possibilites d'action // Comptes rendus des s'eances de L'academie d'agriculture Franse. - 1980.- №10. - P. 913-920
4. Свентицкий И.И. Системный биоэнергетический подход к проблемам сельскохозяйственного производства // Мех и электр. соц. сел. хоз. - ва. - 1977. - С. 4-6.
5. Козинский В.А. Исследование импульсного освещения растений // Вопросы электрификации и автоматизации процессов сельскохозяйственного производства // Тр. ин. та/ЧИМЭСХ. - 1967. - С. 47-50.
6. Свентицкий И.И. О максимальной фотосинтетической эффективности оптического излучения // Вестник с.-х. науки. - 1967. - №9. - С. 103-107.
7. Гурвич А.Г. Избранные труды. - М.: Медицина, 1974. - 580с.
8. Гринченко С.Н., Загускин С.П. Механизмы живой клетки: алгоритмическая модель. - М.: Наука, 1989. - 232с..
9. Свентицкий И.И., Георгиев Г.Д. Эксергический анализ при решении задач получения энергии из биомассы // Техника в сельском хозяйстве 1989. - №3 - С.19-21
10. Бойко Л.А. О происхождении, природе, механизме действия некоторых эндогенных осцилляторов растений и влиянии на них экзогенных осцилляторов окружающей среды // Успехи совр. биол.. 1971. Т. 72. № 3. С. 360-374.
11. Курсанов А.Л. Транспорт ассимилятов в растении. 8.: Наука. 1976. 647с.
12. Алиев Д.А., Адыгезалов В.Ф. Информационная роль биопотенциалов в растительных объектах // Изв. АН АзССР. Сер.биол. н. 1982. №1. С. 110-116.
13. Гунар И.И., Паничкин Л.А. О передаче электрического возбуждения у растений // Изв. ТСХА 1970. №5. С.3-9.
14. Опритов В.А. Распространяющееся возбуждение и функциональная активность проводящих тканей высших растений: Диссерт. ... докт. биол. наук. Горький, 1975.
15. Опритов В.А. Распространяющееся возбуждение у высших растений // Успехи современной биол.. 1977. Т. 83. №3. С. 442-458.
16. Опритов В.А. Распространяющееся возбуждение и транспорт ассимилятов во флоэме // Физиол. раст.. 1978. Т. 25. № 5. С. 1042-1054.
17. Синюхин А.М. Функциональное значение потенциалов действия растительного организма. Вторая функция флоэмного пучка высших растений // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1972. № 6. С. 747-755.
18. Рыбин И.А. Феноменология и происхождение светозависимой биоэлектрической активности // Светозависим. биоэл. активн. листьев раст. Свердловск, 1980. С. 5-22.

40. Адыгезалов В.Ф., Гродзинский Д.М. Изучение метаболической природы фотоиндуцированных биопотенциалов листа // Физиол. и биохим. культ, раст. 1976. Т. 8. № 6. С. 601-606.

41. Михеева С.А., Рыбин И.А. Зависимость переходной биоэлектрической реакции на включение и выключение света от интенсивности освещения // Вопр. регуляц. фотосинтеза. Свердловск, 1973. № 3. С. 77-83.

42. Рыбин И.А., Оболонский В.В., Михеева С.А., Бирюкова Е.Г., Тихомирова Л.Р. Феноменология светозависимой биоэлектрической активности листьев растений // Светозавис. биоэл. активн. листьев раст. Свердловск, 1977. С. 23-62.

43. Рыбин И.А., Шавнин С.А., Михеева С.А. О светоиндуцируемой электрореакции листьев бобов // Физиол. и биохим. культ, раст., 1979, Т. 11 № 4. С. 345-350.

44. Рыбин И.А., Оболонский В.В. О возможной фитохромной регуляции светозависимой биоэлектрической активности листьев огурца // Физиол. и биохим. культ, раст., 1976, Т. 8, № 6, С. 595-600.

45. Изменение удельной поглощающей активности корней подсолнечника при ослаблении ценотического взаимодействия растений // Изв. ТСХА. 1985, В. I. С. 97-100.

Лялин О.О. Электрические свойства клеточных мембран и межклеточных контактов высших растений: Дисс. ... докт. биол. наук. М., 1980.

49. Оболонский В.В., Рыбин И.А. Биоэлектрические эффекты перехода из одной спектральной области в другую на листья кукурузы и бобов // Светозависимая биоэлектрическая активность листьев растений. Свердловск, 1977. С. 89-95.

50. Шавнин С.А. Влияние газового состава атмосферы на светозависимую биоэлектрическую активность листьев растений: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Красноярск, 1981. 22 с.

51. Новак И.А., Иванкина Н.Г. Взаимосвязь между внутриклеточной и внеклеточной биоэлектрическими реакциями растений // Биофизика. 1976. Т. 21. 519 с.

52. Rapp P.E. An atlas of cellular oscillators // J. exp. biol. 1979. Vol. 81. P. 281-306.

53. Гродзинский А.М. Химическое взаимодействие растений. К.: Наукова думка, 1981.

54. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М.: Изд - во АН СССР, 1935. 205с.

55. Биологические ритмы / Под ред. Ю.Ашоффа. Т.1.М: Мир, 1984. 414с.