

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Електропривід опромінюючих установок змінного
опромінення

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТм-62
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка

та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Греля В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Андрійчук В.А.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Шелестовський Б.Г.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 13 » листопад 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Грелі Василю Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Електропривід опромінюючих установок змінного опромінення.

Керівник роботи Андрійчук Володимир Андрійович д.т.н, проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » листопада 2023 року № 4/7-1039.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Опромінювач ЖО-01, ГСП-04 з лампами ДНаТ-400, ДРИ-1000-5 з
обертальним рухом навколо вертикальної та горизонтальної осей з періодом 30...180 с.,
асинхронний двигун з КЗ ротором та кроковий двигун, частотне керування АД, автоматичне та
ручне керування роботою установки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1.Титульна сторінка, мета та завдання роботи; 2.Класифікація опромінюючих установок; 3.Схема узагальненого електроприводу; 4. Зовнішній вигляд опромінювальної установки; 5.Математична модель ОУ; 6. Структурна схема системи керування електроприводу ОУ; 7.Блок-схема частотного керування АС; 8. Розподіл опромінення ФАР ($Вт/м^2$) ділянки посіву $8м \times 12м$ від ОУ з обертальним рухом опромінювачів; 9.Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі
завдання

13 листопада 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	14.11.2023	
2	Аналітичний розділ	18.11.2023	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	22.11.2023	
4	Проектно-конструкторський розділ	25.11.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	29.11.2023	
6	Висновки	01.12.2023	
7	Оформлення пояснювальної записки	06.12.2023	
8	Оформлення графічної частини	12.12.2023	

Студент

_____ (підпис)

Греля В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Андрійчук В.А.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм–62. - Т. : ТНТУ, 2023.

Стор.75; рис. 35; табл. 12;; джерел - 9;

Кваліфікаційна робота виконана на підставі завдання на тему: «Електропривід опромінюючих установок змінного опромінення».

Метою роботи є розробити світловий прилад з обертальним рухом опромінювача та з керованим енергоощадним електроприводом.

Ключеві слова: ЕЛЕКТРОПРИВІД, ОПРОМІНЮЮЧА УСТАНОВКА, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Оптичні електротехнології змінного опромінення рослин	9
1.2 Опис біологічних процесів	10
1.2.1 Фотосинтез та аналіз кінетики його процесів	10
1.2.2 Світлова фаза фотосинтезу	10
1.2.3 Темнова фаза фотосинтезу	11
1.3 Добовий хід фотосинтезу рослин у природних умовах	12
1.4. Фотосинтезна ефективність випромінювання	13
1.4.1 Спектральна фотосинтезна ефективність оптичного випромінювання	13
1.4.2. Джерела випромінювання для світлокультури рослин	15
1.5. Аналіз опромінювальних пристроїв для світлокультури Рослин	17
1.5.1. Опромінювальні пристрої неперервної дії	17
1.5.2. Пристрої змінного опромінення	18
1.6. Аналіз систем електроприводу для рухомих об'єктів	22
1.7 Електропривід для рухомих опромінювальних установок	25
Висновки до розділу 1	26
2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	28
2.1 Опромінювальна установка з обертальним рухом опромінювача	28
2.2. Математична модель рухомої опромінювальної установки	33
2.2.1. Основні принципи моделювання опорно-поворотного пристрою	34
2.2.2 Вибір систем координат	35

2.2.3 Пряма та обернена задачі про положення рухомого опромінювача	36
2.3. Система керування	40
2.4 Частотний перетворювач для електропривіду асинхронного двигуна	45
Висновки до розділу 2	49
3. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	51
3.1 Світлотехнічний розрахунок ОУ постійної дії з симетричним світловим розподілом опромінювача	51
3.2 Світлотехнічний розрахунок ОУ змінного опромінення	54
3.3 Світлотехнічний розрахунок для декількох опромінювальних установок змінного опромінення	57
Висновки до розділу 3	61
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	62
4.1. Організація охорони праці на підприємстві	62
4.2 Заходи безпеки при обслуговуванні електроустановок	64
4.3 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок	68
Висновки до розділу 4	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Питання електроприводу в більшості випадків стосується промислових виробничих механізмів. Дана робота присвячена застосуванню його у світлотехнічній галузі, а саме в опромінюючих установках змінного опромінення. Вирощування рослин на закритому ґрунті є енергоємним процесом, тому пошук енергоощадних технологій їх світлокультури є актуальним. Змінне опромінення є одним із шляхів зменшення енергозатрат без зниження врожайності та якості овочевих культур, вирощених на закритому ґрунті. Це можна зробити за допомогою рухомих опромінюючих установок, побудові електроприводу яких і присвячена дана робота.

Мета роботи: розробити світловий прилад з обертальним рухом опромінювача та з керованим енергоощадним електроприводом.

Об'єкт дослідження: Процес отримання змінного світлового поля шляхом електроприводу рухомих опромінюючих установок.

Предмет дослідження: Електропривід опромінюючих установок з обертальним рухом опромінювача навколо вертикальної осі та навколо вертикальної і горизонтальної осей одночасно.

Методи дослідження: методи математичного моделювання рухомих об'єктів, методи вимірювання світлового розподілу, метод розрахунку світлового поля ОУ змінного опромінення, принцип суперпозиції світлових полів від різних опромінювальних елементів та метод трансляції матриці опромінення $\{\epsilon\}$ елементарних ділянок.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Запропонована математична модель рухомої опромінювальної установки з обертальним рухом опромінювача навколо вертикальної та

горизонтальної осей, яка дозволяє проводити розрахунок заданої траєкторії руху опромінювача, його швидкість та прискорення.

2. Для електроприводу опромінювача у горизонтальній площині виконаний асинхронний мотор-редуктора 5IK60GN та однофазний частотний перетворювач потужністю 0,18 кВт., а у вертикальній площині – кроковий двигун пета 23 (23HS2430) та драйвер DM556.

3. Система керування роботою опромінювача виконана на базі мікроконтролера KM1816BE51.

Практична цінність результатів дослідження:

Запропоновано метод розрахунку світлового поля опромінювальної ділянки ґрунту установкою змінного опромінення з обертальним рухом опромінювача навколо вертикальної та горизонтальної осей.

Запропонована електрична схема частотного керування роботою асинхронного двигуна з КЗ ротором на базі мікроконтролера STM8S105K4T6.

Запропоновані блок-схеми алгоритму роботи системи керування опромінюючою установкою змінного опромінення в автоматичному режимі та в режимі "Ручне керування".

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи і її результати доповідалися на XII Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів “*Актуальні задачі сучасних технологій*” – Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Електропривід установок змінного опромінення з обертальним рухом опромінювача» у збірнику матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «*Актуальні задачі сучасних технологій*» (Збірник тез конференції. 6-7 грудня 2023 року, Тернопіль, С. 236)

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Оптичні електротехнології змінного опромінення рослин.

Оптичними електротехнологіями називають процеси, в яких випромінювання використовується як енергетичний та регулюючий, фактор. Такі технології характеризуються перенесенням і перетворенням потоку енергії оптичного випромінювання для отримання необхідного технологічного ефекту.

При вирощуванні рослин в теплицях, тобто на захищеному ґрунті проводять додаткове опромінення рослин. Це відбувається тоді, коли природній сонячний день є коротким і хмарним. Таке додаткове освітлення дає ряд переваг:

- можливість продовжити сезон, вирощувати рослини цілий рік;
- можливість розширити асортимент продукції, що вирощується;
- підвищити контроль за процесами вегетації, цвітіння, тощо;
- збільшити врожайність тепличних рослин;
- покращити якість продукції;
- гарантувати цілорічне постачання овочів.

Таким чином, з одного боку, застосування оптичних електротехнологій веде до підвищення енергоємності в тепличному виробництві. З іншого боку, повністю відмовитися від застосування енергії оптичного випромінювання неможливо, виходячи з властивостей біологічного об'єкта, яким є рослини. В даний час застосування оптичних електротехнологій тісно пов'язане із питанням про енергозбереження. Тому пошук можливостей економії електроенергії у технологічному процесі вирощування тепличних рослин з використанням енергії оптичного випромінювання має дуже важливе практичне завдання. Для

його вирішення необхідні відповідні теоретичні підходи, знання внутрішніх процесів впливу енергії оптичного випромінювання на рослини. Одним із самих важливих процесів, що відбуваються в рослині під дією оптичного випромінювання є фотосинтез.

1.2 Опис біологічних процесів

1.2.1 Фотосинтез та аналіз кінетики його процесів

При попаданні світла на рослину відбувається процес перетворення поглинутої енергії випромінювання енергію органічних сполук. При цьому додатково ще використовуються неорганічні речовини – вуглекислий газ CO_2 і вода H_2O . З них синтезуються складні органічні сполуки. При фотосинтезі виділяється кисень [1-3]

Процеси, які відбуваються в рослині на світлі називаються світловими і вони складають світлову фазу фотосинтезу [2,3]. Під час темної фази фотосинтезу, яка протікає без світла, відбувається відновленням CO_2 і утворення вуглеводів.

Експериментальні докази існування двох фаз фотосинтезу були отримані в дослідях з імпульсним опроміненням. Було показано, що при імпульсному опроміненні має місце максимальна інтенсивність фотосинтезу [2].

Це особливо ефективно при тривалості темних проміжків 0,04-0,06 с (при 25°C). Висока ефективність імпульсного світла пояснюється наявністю темних реакцій у фотосинтезі, які протікають повільніше, ніж фотохімічні.

1.2.2 Світлова фаза фотосинтезу.

У світловій фазі фотосинтезу відбувається поглинання світла молекулами *хлорофілу a* та *хлорофілу b*, а також *каротиноїдів*, і *фікобілінів*, та перетворення енергії випромінювання в хімічну енергію аденозинтрифосфату (АТФ) і відновленого нікотинамідаденіндинуклеатид фосфату (НАДФ·Н). Всі ці процеси проходять у мембранах хлоропластів, які є фотохімічно активними.

Енергія випромінювання, поглинута світлозбірними комплексами, протягом дуже короткого часу ($10^{-10} \dots 10^{-9}$ с) передається реакційним центрам. Після цього відбувається іонізація молекул хлорофілу, розділенням носіїв заряду та перенесенням електронів.

На світловій стадії фотосинтезу важливу роль відіграє та його частина, де світлова енергія, здійснивши генерацію та розділення зарядів, переносить їх по електронно-транспортному ланцюзі. Цей потік електронів забезпечує перетворення її в хімічну. Після цього вона накопичується у АТФ і відновлених еквівалентах НАДФ·Н.

Таким чином, світлова фаза фотосинтезу завершується утворенням в листках рослини АТФ та приєднанням водню до переносника з НАДФ.

1.2.3 Темнова фаза фотосинтезу

Після світлової фази в хлоропластах накопичується достатня концентрація АТФ і НАДФ·Н. Цей субстратний запас під час темної фази з участю CO_2 перетворюється у вуглеводи.

Під час темної фази, перетворення енергії проходить через короткоживучі хімічні продукти НАДФ·Н і АТФ, які її передають до сполук, в яких енергія запасується на більш тривалий час – вуглеводи, крохмаль, жири і т.ін.

Тобто, можна вважати, що час протікання темної фази фотосинтезу є набагато триваліший, ніж світлової. Він триває 1 хвилину і більше. Такий тривалий час протікання темної фази фотосинтезу, на відміну від світлової, зумовлений особливістю надходження вихідних речовин до клітин хлоропластів та транспортуванням утворених молекул вуглеводів. З навколишнього середовища рослина отримує неорганічні сполуки: CO_2 – з повітря, воду і мінеральні речовини - з ґрунту через корені. Отже, надходження води та мінерального живлення має дифузійний характер, який протікає достатньо повільно. Їх швидкість в кожному конкретному випадку індивідуальна і триває хвилини.

1.3 Добовий хід фотосинтезу рослин у природних умовах

Добовий хід фотосинтезу рослин у природних та штучних умовах характеризується значною нерівномірністю. Таке коливання не можна віднести тільки щодо змін зовнішніх умов, вирішальне значення в цьому процесі належить внутрішнім факторам життєдіяльності рослин. Коливання денного ходу фотосинтезу пов'язане з процесом, якому більш висока інтенсивність фотосинтезу потім змінюється глибоким спаданням.

У період спаду інтенсивності фотосинтезу підтримувати високий рівень опромінення рослин є не лише марно, але навіть може бути шкідливо для рослини.

Виходячи з цього, необхідно здійснювати постійне регулювання рівня опромінення, відповідно до перебігом фотосинтезу. Використання низького рівня опромінення в період спаду інтенсивності фотосинтезу призведе до виправданого зниження витрати електроенергії. Таким чином, сутність способу змінного опромінювання полягає в періодичному впливі на рослини високого рівня опромінення на фоні постійної дії низького.

1.4 Фотосинтезна ефективність випромінювання

1.4.1 Спектральна фотосинтезна ефективність оптичного випромінювання

Випромінювання, яке охоплює весь видимий діапазон від 380 до 780 нм, і яке при певних умовах здійснює фотосинтезну дію, називають фотосинтезно ефективним випромінюванням. Як впливає із попереднього підрозділу, фотосинтез є надзвичайно складний багатоступеневий процес в організмі рослини. В результаті проведеної дослідницької роботи біологами, фізиками, світлотехніками у 1983р. було запропоновано систему ефективних величин фотосинтезно активного випромінювання, що знайшло відображення в галузевому стандарті. Він ґрунтується на теоретичному розрахунку відносної спектральної фотосинтезної ефективності випромінювання згідно з законом квантової еквівалентності поглинання ОВ фотосинтезними пігментами при рівномірному розподілі їх в листку рослини. Результати цих розрахунків наведені в табл.1.1 і на рис.1.1

Фотосинтезний потік Φ_{fc} - це потік випромінювання у видимій області спектру 380-780 нм, який викликає фотохімічний процес утворення в рослині органічних речовин з вуглекислого газу та з води

$$\Phi_{fc} = \int_{380}^{780} \varphi(\lambda) \cdot V_{fc}(\lambda) \cdot d\lambda. \quad (1.1)$$

За одиницю фотосинтезного потоку прийнятий 1фіт (фіт). Він дорівнює потоку випромінювання з $\lambda=680$ нм потужністю 1Вт.

Таблиця 1.1 - Відносна спектральна фотосинтезна ефективність ОВ
 $V_{\text{фс}}(\lambda)[2]$

λ , нм	$V_{\text{фс}}(\lambda)$	λ , нм	$V_{\text{фс}}(\lambda)$	λ , нм	$V_{\text{фс}}(\lambda)$	λ , нм	$V_{\text{фс}}(\lambda)$
310	0,405	420	0,576	530	0,380	640	0,788
320	0,440	430	0,578	540	0,350	650	0,864
330	0,463	440	0,574	550	0,348	660	0,958
340	0,478	450	0,488	560	0,342	670	0,975
350	0,486	460	0,488	570	0,381	680	1,00
360	0,495	470	0,450	580	0,504	690	0,676
370	0,514	480	0,405	590	0,570	700	0,251
380	0,528	490	0,373	600	0,568	710	0,125
390	0,540	500	0,385	610	0,552	720	0,074
400	0,552	510	0,322	620	0,694	730	0,049
410	0,560	520	0,441	630	0,797	740	0,025

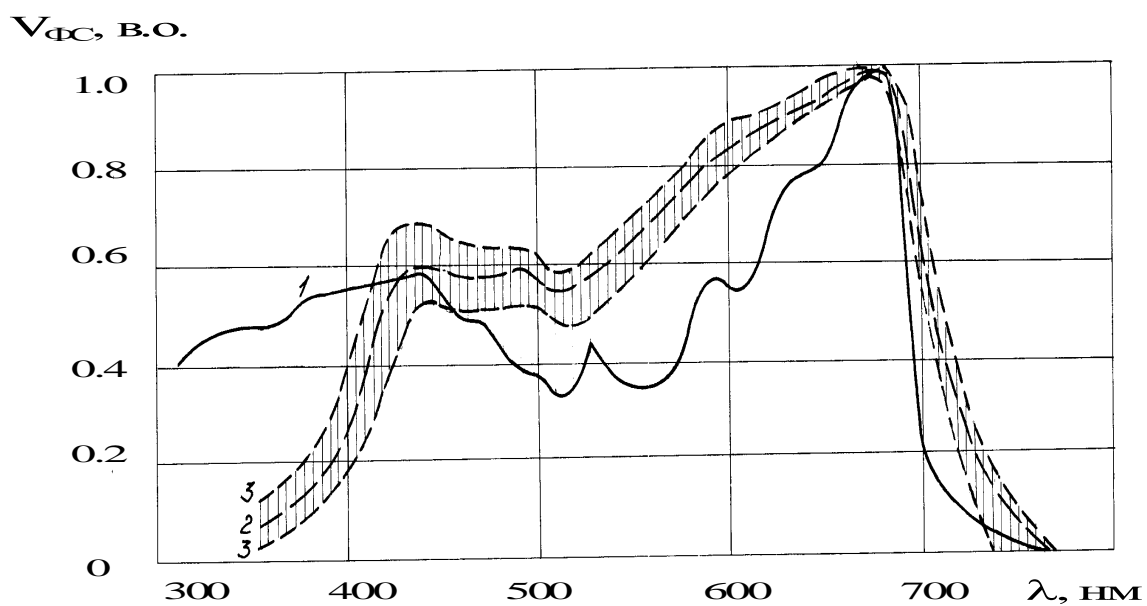


Рисунок 1.1 - Спектральна фотосинтезна ефективність ОВ:

1 - результати теоретичного розрахунку [1];

2 - середнє значення експериментальних даних [2,3];

3 - довірчий інтервал.

Фотосинтезне опромінення – це фотосинтезний потік, який припадає на одиницю площі опромінювальної поверхні

$$E_{\phi c} = \frac{d\Phi_{\phi c}}{dS}.$$

Одиниця фотосинтезного опромінення - 1 фіт на 1 м^2 (фіт/ м^2).

Кількість фотосинтезного опромінення або фотосинтезна експозиція –

$$H_{\phi c} = \int E_{\phi c} dt.$$

Одиниця фотосинтезної експозиції - 1 фіт на 1 м^2 протягом 1 секунди (фіт·с/ м^2).

Аналогічі величини вводяться і для ФАР, але вони вимірюються в енергетичних одиницях.

1.4.2 Джерела випромінювання для світлокультури рослин.

Ефективність джерел випромінювання для опромінення рослин можна оцінити за виділеним киснем, або за кінцевим продуктом - масою плодів або коренеплодів, масою листків або загальною біомасою. Ці методи широко застосовується при фізіологічних дослідженнях рослин [2,3].

Біологічної цінності випромінювання при вирощуванні рослин в теплицях використовують такі методи.

1) Оцінку ефективності джерела проводять по спектральному

розподілу випромінювання в системі фотосинтезних величин, які визначаються згідно формули (1) [157-160].

2) Для оцінки ефективності джерела світла за потоком фотосинтезноактивної радіації (ФАР), рослину представляють приймачем з неселективною чутливістю. Тобто спектральна ефективність зображається П-подібною функцією. [2].

3) Враховуючи, що у поглинанні світла листком рослини беруть участь цілий ряд пігментів, кожен із своєю спектральною чутливістю, то можна розбити видиму область випромінювання на зони із спектрами поглинання цих пігментів. Таке визначення потоку ФАР згідно ОСТ 46 140-83 "Випромінювання оптичне. Оцінка фотосинтезної ефективності. Терміни і визначення", де вказані ці спектральні зони – $\Delta\lambda_1=380-500$ нм, $\Delta\lambda_2=500-600$ нм і $\Delta\lambda_3=600-780$ нм. Тоді фотосинтезний потік можна представити у вигляді окремих складових:

$$\Phi_{\phi c} = \Phi_e \sum_{380}^{780} \vec{S}_i \cdot K_{\phi}(\lambda_i) = \Phi_e \left(\vec{S}_1 \cdot K_{\phi}(\lambda_1) + \vec{S}_2 \cdot K_{\phi}(\lambda_2) + \vec{S}_3 \cdot K_{\phi}(\lambda_3) \right),$$

де \vec{S}_i – представлена у відсотках до загальної енергії ФАР енергія випромінювання на i -й ділянці спектру $\Delta\lambda_i$;

$K_{\phi}(\lambda_i)$ – функція, яка згідно даного госту приймається: $K_{\phi}(\lambda_1)=0,6$; $K_{\phi}(\lambda_2)=0,4$; $K_{\phi}(\lambda_3)=1,00$.

Проведемо порівняльний аналіз джерел світла з урахуванням основних показників. Джерела випромінювання, принцип роботи яких заснований на тепловому випромінюванні, в даний час практично не застосовуються в світлокультурі рослин. Це пояснюється тим, що термін служби становить 1000 год, а світлова віддача вбирається у 20 лм/Вт.

Наступний тип джерел випромінювання – газорозрядні лампи. Поява

натрієвих ламп високого тиску НЛВТ дала новий виток у розвитку опромінювальної техніки для теплиць. По своїй ефективності вони переважають металогалогенні лампи та лампи типу ДРІ і дугові ртутні лампи ДРЛФ. НЛВТ є однією з найбільш ефективних груп джерел світла. Вони мають максимальну світлову віддачу до 130...150 лм/Вт. До 70% випромінювання цих ламп зосереджено жовто-оранжевій області спектру в діапазоні довжин хвиль 560...610 нм, а також характеризуються незначним зниженням світлового потоку і довгим терміном служби [2]. Це одиноким з найбільш ефективних джерел світла на сьогоднішній день.

На рівні із газорозрядними лампами НЛВТ у світлокультурі рослин впроваджуються світлодіодні джерела світла. Світлодіоди, безсумнівно, є перспективними джерелами світла, але стосовно тепличних опромінювальних установок вони поки що поступаються НЛВД, так як світлова віддача світлодіодних світильників потужністю 100 ... 150 Вт, з урахуванням втрат у драйвері, не перевищує навіть для холодно-білого кольору 80...100 лм/Вт, а для світильників більшої потужності вона ще нижче. Отже, при переході на світлодіодні світильники витрати на електроенергію збільшуються як мінімум у 1,5 рази, а їхня частка у собівартості виробленої продукції збільшується до 60%. Крім того, в даний час світлодіодні світильники дуже дорогі.

1.5 Аналіз опромінювальних пристроїв для світлокультури рослин

1.5.1 Опромінювальні пристрої неперервної дії

В тепличному рослинництві широко застосовується додаткове опромінювання рослин в розсадний і післярозсадний період, що дозволяє збільшити віддачу посівних площ за рахунок скорочення періоду вегетації

рослин та покращення їх якості. Для опромінення рослин застосовувалися різні опромінювальні пристрої, але масового використання набули лише тепличні опромінювачі ОТ-400 з лампами ДРЛФ-400 [5]. Дані опромінювачі мають ряд суттєвих недоліків. Основними із них є: мала одинична потужність, низька світлова віддача, спектр випромінювання лампи має малу ефективність. В даний час в нових проектах освітлення теплиць не використовуються, але ще зустрічаються в деяких тепличних господарствах.

Наступним найбільш розповсюдженими ОП є опромінювачі із газорозрядними лампами НЛВТ. В них використано корпус ОТ-400, в який розміщено лампу з пускорегулюючим апаратом. Завдяки своїй високій фотосинтезній ефективності та великій світловій віддачі найчастіше зустрічаються в промислових тепличних господарствах.

1.5.2. Пристрої змінного опромінення

Змінне опромінення рослин характеризується наступними параметрами: інтенсивність, спектральний склад, тривалість і періодичність впливу, пульсація опромінення, спрямованість впливу, швидкість зміни параметрів опромінення. Для даного способу опромінення важливе значення має зміна величини оптичної енергії у часі. Деякі змінні параметри радіаційного режиму, в тому числі в силу природних процесів, є тимчасовими характеристиками змінного опромінення рослин, а саме:

- тривалість впливу на біологічний об'єкт оптичного випромінювання як штучного, так і природного протягом доби (або за вегетаційний період);
- періодичність впливу (ритм опромінення), наприклад, змінний спосіб опромінення, що формується під час руху джерела

випромінювання;

- пульсація опромінення, наприклад, при імпульсному способі опромінення, тобто. короткочасний вплив.

Параметри змінного опромінення представлені малюнку 1.2. На їх основі була створена класифікація опромінювальних установок, які використовують оптичні електротехнології змінного опромінення рослин [6].



Рисунок 1.2 - Параметри змінного опромінення

Дуже важливо, що дана класифікація відображає основні аспекти побудови технологічних схем опромінення рослин у теплиці (рис. 1.3). Комбінації значень кожної з ознак призводить до синтезу конкретних типів технологічних схем опромінення.

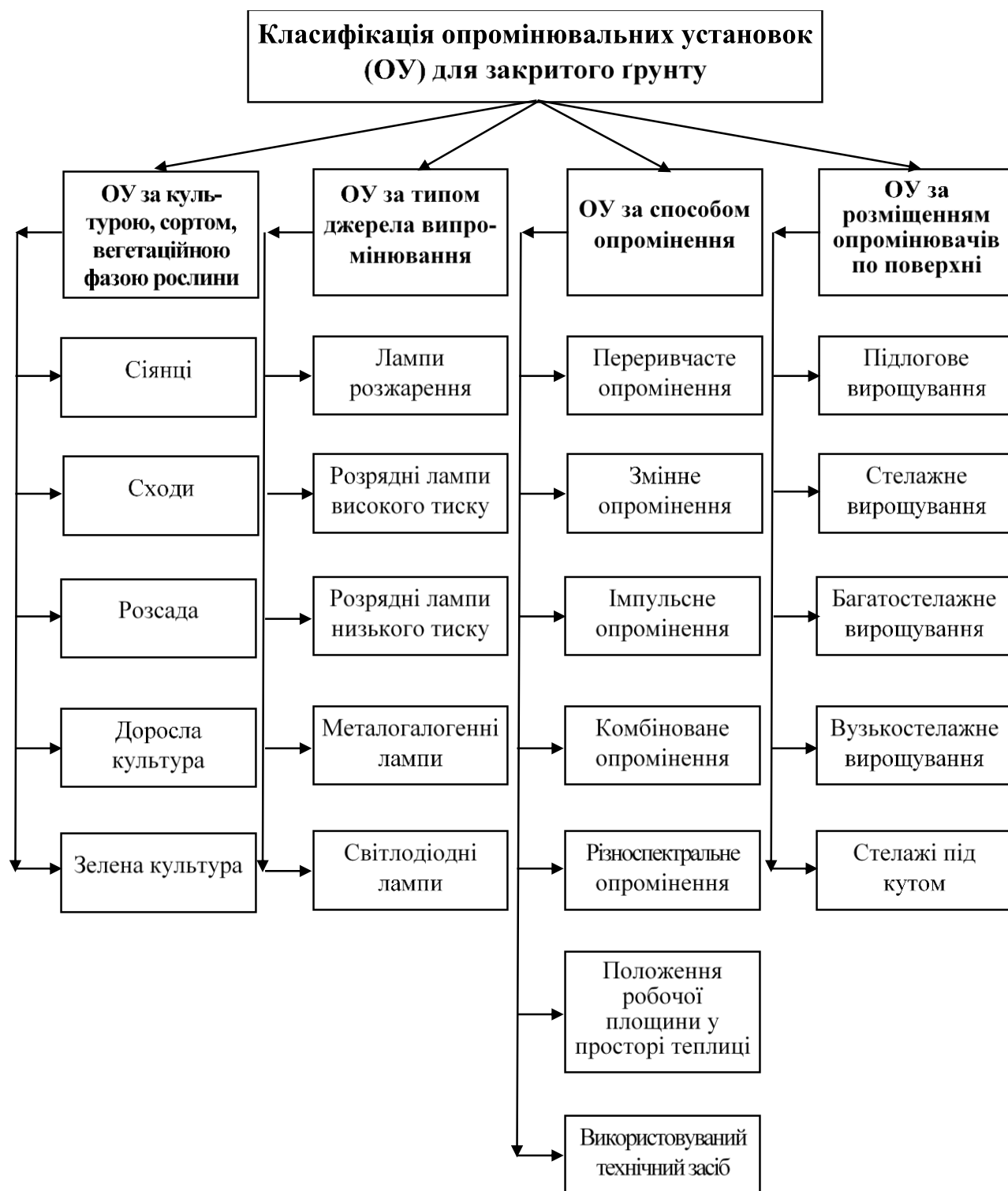


Рисунок 1.3 – Класифікація опромінювальних установок

Наприклад, технологічна схема для вирощування розсади складається з наступних елементів:

- культура, що вирощується - розсада томатів;
- джерело опромінення – газорозрядна лампа високого тиску;
- спосіб опромінення – змінний спосіб;
- опромінююча поверхня – стелаж з регульованим кутом нахилу робочої поверхні.

Слід відмітити, що повний технологічний цикл від насіння до одержання рослинницької продукції – це ланцюжок технологічних схем: для сіянців, сходів, розсади, дорослої культури. Аналіз показує, що найбільший вплив на вибір технологічної схеми має перша ознака. Культура, сорт, вегетаційна фаза вирощуваної рослини визначають світловий режим, який створює опромінювальна установка.

Просторове та поверхневе опромінення об'єкта здійснюється одним або декількома джерелами випромінювання, причому, виходячи з вимог значення інтенсивності опромінення, спектрального складу, тривалості впливу та рівномірності розподілу потоку випромінювання, вибирають найбільш раціональні параметри геометрії системи «опромінювач - об'єкт». Об'ємне опромінення здійснюється через спосіб опромінення, або змінення положення робочої поверхні відносно джерела.

Таким чином, у розглянутій класифікації основними впливаючими факторами на біологічний об'єкт, є вибір джерела випромінювання, спосіб створення змінного опромінення, а також положення робочої поверхні у просторі теплиці. Правильний вибір способу опромінення повинен виконувати такі завдання:

- створювати світловий режим, сприятливий для зростання та розвитку біологічного об'єкта;

- створювати стимулюючий вплив на рослини, при якому збільшується продуктивність фотосинтезу;
- зменшувати енергоємність та енерговитрати на технологічний процес вирощування тепличних рослин із застосуванням оптичного випромінювання.

1.6. Аналіз систем електроприводу для рухомих об'єктів

Електропривод – це електромеханічна система яка здійснює перетворення електричної енергії в механічну. Електропривід складається із двох основних частин – силової і інформаційної. В силову частину входять всі елементи приводу, в яких відбувається перетворення електричної енергії в інші види. Сюди відносяться електричні двигуни, робочі органи, механізми. Елементи інформаційної частини здійснюють керування електричним приводом, виконують контроль технологічного процесу і т.д. Сюди відносяться системи моніторингу, давачі, системи керування, лінії зв'язку і т.д [1].

Узагальнена структурна схема електроприводу приведена на рисунку 1.4.

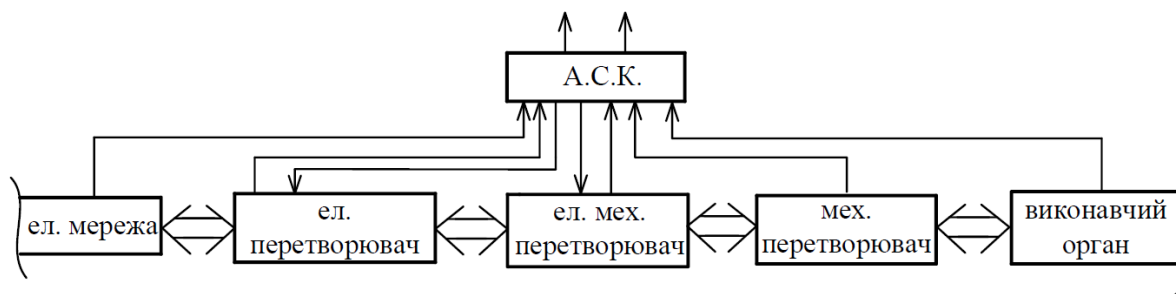


Рисунок 1.4 – Узагальнена структурна схема електроприводу

Згідно даної схеми, енергія для електричного приводу подається з електричної мережі (ЕМ). Вона в разі необхідності може зазнавати різних перетворень за допомогою електричного перетворювача (ЕП). Після цього вона поступає до електромеханічного перетворювача (ЕМП). Він може змінювати швидкість обертання, збільшити момент, перейти від обертального руху до поступального і т.д. Для зв'язку з виконавчим органом використовується механічний перетворювач (МП). Кінцевим елементом ЕП є виконавчий орган, який виконує корисну роботу.

Описана частина ЕП є силовою, вона служить для перетворення електричної енергії в механічну. Керування технологічним процесом ЕП здійснює автоматична система керування (АСК). До неї поступає інформація від любого елемента системи ЕП. АСК проводить її аналіз і після цього впливає на керовані елементи ЕП.

Класифікація електроприводів.

1. *Груповий* – коли за допомогою одного двигуна приводиться в рух багато механічних пристроїв.

2. *Індивідуальний* – електродвигун має кожен виконавчий орган та механізм.

3. *Пов'язаний* – коли декілька двигунів, для забезпечення синхронної роботи, пов'язані механічно або електрично.

4. *За природою електричного струму:*

а) постійного струму;

б) змінного струму.

5. *За ступеням керованості:* не керовані, регульовані, програмовані, слідкуючі, адаптивні.

6. *За типом передаточного приладу:* редукторні і безредукторні.

7. *За рівнем автоматизації:* не автоматизовані, автоматизований з ручним керуванням, автоматичний весь технологічний процес без участі людини.

При виборі системи електроприводу необхідно виявити співвідношення між механічними характеристиками двигуна та механічними характеристиками механізму [1,5]. При цьому механічні характеристики виробничого механізму приводять до валу двигуна. Механічні характеристики виробничих механізмів є досить складними. На практиці для опису механічних характеристик використовують емпіричну формулу Бланка:

$$M_c = M_{тр} + (M_{ном.с} - M_{тр}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}}\right)^x, (1.2)$$

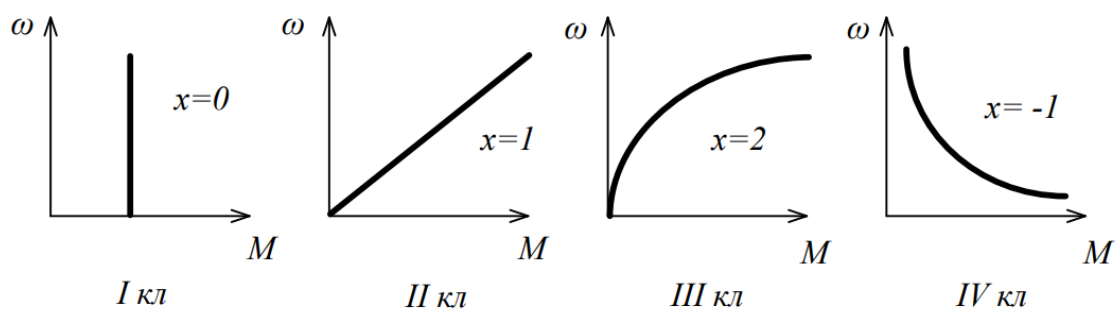
де M_c – статичний момент опору виробничого механізму;

$M_{ном.с}$ - номінальний статичний момент, для швидкості $\omega_{ном}$;

$M_{тр}$ - момент тертя, який не залежить від швидкості;

x – показник зміни моменту опору при зміні швидкості.

Механічні характеристики виконавчих механізмів, в залежності від x , поділяються на такі класи:



1. При $x=0$, $M_c=M_{тр}$ В цьому випадку M_c не залежить від ω . Сюди відносяться механізми, в яких момент тертя є головним моментом опору. Це конвеєри, підйомні крани, лебідки і т.п.

2. При $x=1$. Механічний момент зростає лінійно із збільшенням швидкості.

$$M_c = M_{тр} + (M_{ном.с} - M_{тр}) \cdot \frac{\omega}{\omega_{ном}}$$

Її мають: генератори постійного струму з незмінне навантаження, двигуни в режимі динамічного гальмування і т.п.

3. При $x=2$. Вентиляторна характеристика. M_c змінюється за параболічною залежністю.

$$M_c = M_{тр} + (M_{ном.с} - M_{тр}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}}\right)^2$$

Таку характеристику називають вентиляторною. Сюди належать: центробіжні насоси, вентилятори, обертаючі прилади і т.п.

4. При $x=-1$. Момент опору механізму змінюється за гіперболічним законом.

$$M_c = M_{тр} + (M_{ном.с} - M_{тр}) \cdot \left(\frac{\omega_{ном}}{\omega}\right)$$

До даного класу відносяться: барабани для намотки металевої стрічок, більшість механізмів, що мають змінну масу, приводи головного руху металооброблювальних верстатів.

1.7 Електропривід для рухомих опромінювальних установок

При виборі електроприводу опромінювальних установок змінного опромінення для світлокультури рослин, задавалися такі умови: забезпечення необхідного рівня опромінення посіву, можливість регулювання тривалості світлових і темнових проміжків, економічність, компактність, зручність в експлуатації та мобільність встановлення. Розглянувши можливі варіанти, вибір був зупинений на опромінювальній установці з обертальним рухом опромінювача. Така опромінювальна установка відноситься до класу механізмів, в яких механічна

характеристика не залежить від швидкості обертання об'єкту і основним моментом опору тут є опір сили тертя.

При виборі конструкції ОП змінного опромінення враховувалися результати аналізу кінетики процесів фотосинтезу як у світловій фазі, так і в темновій, які показують, що очікувані періоди зміни світлового поля лежать в хвилинному діапазоні [5,6].

При проектуванні опромінювальних пристроїв змінного опромінення, щоб уникнути небажаного фототропізму рослин враховувалась їх архітектура та пов'язана з нею особливість опромінення. Наприклад: розсада, цибуля, полуниця, квіткові культури та інші низькорослі рослини вимагають близького до вертикального напрямку потоку випромінювання, тоді як для паростків картоплі в культурі *in vitro*, огірків та помідорів на шпалерах та для інших високорослих рослин достатньо бокового освітлення. В зв'язку з тим було вибрано конструкцію ОП з обертальним рухом опромінювача у двох площинах - у вертикальній і горизонтальній. В горизонтальній площині опромінювач здійснює колові рухи, а у вертикальній площині його рух відбувається в межах меридіального кута ($0 - \pi/2$). В зв'язку з тим, електропривід даної опромінювальної установки змінного опромінення буде мати два електро двигуни. Конструкцію даної установки розглянемо в наступних розділах роботи.

Висновки до розділу 1

1. На базі аналізу кінетики біологічних процесів фотосинтезу дано обґрунтування оптичних електротехнологій змінного опромінення рослин.

2. За величиною фотосинтезної активності випромінювання зроблено оцінку ефективності джерел світла для світлокультури рослин.

3. Зроблено аналіз систем електроприводу для рухомих опромінюючих установок змінного опромінення.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Опромінювальна установка з обертальним рухом опромінювача

При розробці опромінюючої установки (ОУ) змінного опромінення виходили із таких умов: забезпечення необхідного рівня опромінення посівної ділянки, можливість регулювання тривалості світлових і темнових проміжків, економічність, компактність, зручність в експлуатації та мобільність встановлення, надійність в роботі.

Для концентрації світлового потоку використовували відбивачі прожектора ЖО-01, світильника ГСП-04, тепличного опромінювача ЖСП-ВОТ-02, які володіють ширококутовим розподілом світлового потоку та високим ККД (не менше 0,75). В якості джерел світла в наявності були газорозрядні лампи ДНаТ-400, ДРИ-400-5 та світлодіодні модулі FYL-3014 10 Вт.

Змінне опромінення вибраної ділянки отримувалось за рахунок обертального руху опромінювача навколо вертикальної осі, або навколо вертикальної та горизонтальної осей. Зовнішній вигляд такої установки приведений рисунку 2.1 та 2.2.

Із попереднього розділу випливає, що періодичність зміни світлового поля повинна лежати в межах 30...180с.

Електропривід даних установок відноситься до індивідуального, оскільки кожен виконавчий орган має свій електродвигун. Обертальний рух опромінювача відноситься до механізмів, для яких показник ступеня в рівнянні (1.2) $x=0$ і статичний момент опору руху опромінювача не залежить від швидкості.

Для руху опромінювача навколо вертикальної, який може здійснюватися в межах заданого кутового сегмента, або задаватись

коловим рухом, доцільно обрати асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Для переміщення опромінювача навколо горизонтальної осі, який буде відбуватись в межах кута $-90^\circ \dots +90^\circ$, доцільно обрати кроковий двигун.

Оскільки параметри двигунів не співпадають з параметрами руху опромінювача то для їх узгодження необхідно буде вибрати кінематичний пристрій, яким може бути шестерневий редуктор. При розрахунку крутного моменту на валу двигуна та його потужності необхідно момент опору та момент інерції рухомого опромінювача звести до моменту опору на валу двигуна. Таке зведення моментів виконується згідно закону енергетичного балансу. Для даного випадку він звучить так: потужність на валу двигуна дорівнює сумі потужності на валу опромінювача і потужності втрат у редукторі кінематичної передачі. Втрати у кінематичній передачі враховують через коефіцієнт її корисної дії $\eta_{кп}$.

Запишемо рівняння енергетичного балансу опромінюючої установки:

$$M_o \Omega_\delta = k \frac{M_{опр} \Omega_{опр}}{\eta_{кп}}, \quad (2.1)$$

де M_o – момент опору на валу двигуна;

- $M_{опр}$ - момент опору на валу опромінювача;

- Ω_δ – швидкість обертання валу двигуна;

- $\Omega_{опр}$ - швидкість обертання валу опромінювача;

- $\eta_{кп}$ - коефіцієнт корисної дії кінематичної передачі

- k – коефіцієнт запасу.

З цього рівняння момент опору на валу двигуна дорівнює:

$$M_o = k M_{опр} \frac{\Omega_{опр}}{\Omega_\delta \cdot \eta_{кп}} = k M_{опр} \frac{1}{i \cdot \eta_{кп}}, \quad (2.2)$$

де $i = \frac{\Omega_\delta}{\Omega_{опр}}$ - передаточне число кінематичної передачі.

Для вибору електродвигуна розглянемо його роботу в номінальному режимі обертання опромінювача, при якому момент на валу поворотного механізму опромінювача разом із моментом інерції дорівнює $120 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а

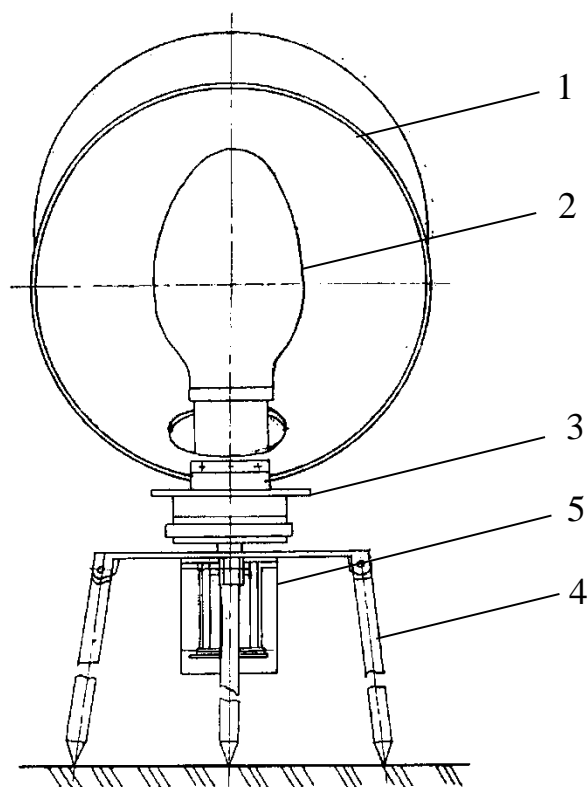


Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд опромінювальної установки із обертальним рухом опромінювача навколо вертикальної осі: 1 – відбивач; 2 – джерело випромінювання; 3 – площадка для кріплення опромінювача; 4 – тринога; 5 – електропривід обертального руху опромінювача

Для переміщення опромінювача навколо горизонтальної осі, який буде відбуватись в межах кута $-90^\circ \dots +90^\circ$, доцільно обрати кроковий двигун.

Оскільки параметри двигунів не співпадають з параметрами руху опромінювача то для їх узгодження необхідно буде вибрати кінематичний

пристрій, яким може бути шестерневий редуктор. При розрахунку крутного моменту на валу двигуна та його потужності необхідно момент опору та момент інерції рухомого опромінювача звести до моменту опору на валу двигуна. Таке зведення моментів виконується згідно закону енергетичного балансу. Для даного випадку він звучить так: потужність на валу двигуна

дорівнює сумі потужності на валу опромінювача і потужності втрат у редукторі кінематичної передачі. Втрати у кінематичній передачі враховують через коефіцієнт її корисної дії $\eta_{кп}$.

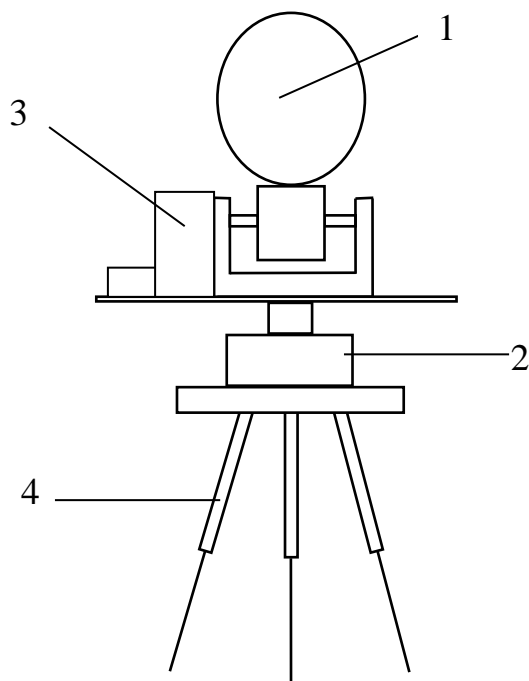


Рисунок 2.2. - Загальний вигляд опромінювальної установки з одночасним обертанням опромінювача навколо горизонтальної та вертикальної осей: 1 – опромінювач; 2 – електропривід повороту опромінювача навколо вертикальної осі; 3 – електропривід повороту опромінювача навколо горизонтальної осі; 5 – штатив.

Запишемо рівняння енергетичного балансу опромінюючої установки:

$$M_o \Omega_o = k \frac{M_{opr} \Omega_{opr}}{\eta_{kn}}, \quad (2.1)$$

де M_o – момент опору на валу двигуна;

- M_{opr} - момент опору на валу опромінювача;
- Ω_o – швидкість обертання валу двигуна;
- Ω_{opr} - швидкість обертання валу опромінювача;
- η_{kn} - коефіцієнт корисної дії кінематичної передачі
- k – коефіцієнт запасу.

З цього рівняння момент опору на валу двигуна дорівнює:

$$M_o = k M_{opr} \frac{\Omega_{opr}}{\Omega_o \cdot \eta_{kn}} = k M_{opr} \frac{1}{i \cdot \eta_{kn}}, \quad (2.2)$$

де $i = \frac{\Omega_o}{\Omega_{opr}}$ - передаточне число кінематичної передачі.

Для вибору електродвигуна розглянемо його роботу в номінальному режимі обертання опромінювача, при якому момент на валу поворотного механізму опромінювача разом із моментом інерції дорівнює $120 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а швидкість обертання опромінювача від 2 до 7,5 об/хв. Коефіцієнт корисної дії кінематичної передачі $\eta_{kn}=0,9$. Для надійності роботи установки взято коефіцієнт запасу 2. Згідно рівняння (2.2) визначимо крутний момент валу двигуна:

$$M_o = k M_{opr} \frac{1}{i \cdot \eta_{kn}} = 2 \cdot 120 \frac{1}{750 \cdot 0,9} = 0,36 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.3)$$

Потужність двигуна буде дорівнювати:

$$P = M_o \Omega_o = 0,36 \cdot \frac{1500}{9,55} = 56,5 \text{ Вт.} \quad (2.4)$$

Найближче значення потужності асинхронного двигуна 60 Вт. Таким чином для обертання опромінювача в горизонтальній площині використали мотор-редуктор типу 5IK60GN з передаточним числом редуктора 1:200 та номінальною швидкістю обертання двигуна 1500 об/хв. Номінальний струм – 0,5 А. Для керування швидкістю обертання мотор-редуктора було використано однофазний частотний перетворювач потужністю 0,18 кВт, що дало змогу регулювати оберти двигуна в межах від 400 до 1500 об/хв, що в свою чергу на валу редуктора становило від 2 до 7,5 об/хв.

Для переміщення опромінювач у вертикальній площині використовували кроковий двигун nema 23 (23HS2430), в якого струм фази - 3.0 А, утримуючий момент - 280 Н·см та драйвер DM556.

2.2. Математична модель рухомої опромінювальної установки

Основою моделювання є теорія подібності? яка проголошує, що абсолютна подібність об'єкту і моделі має місце лише при заміні його точно таким же. Спроба якнайкраще описати складний об'єкт приводить до зростання складності моделі, що суттєво знижує можливість її практичного використання. Тому центральною проблемою моделювання рухомої опромінювальної установки є розумне спрощення моделі, тобто вибір необхідної і достатньої її подібності до об'єкту моделювання.

До складу рухомої опромінювальної установки входять: опромінювач з джерелом світла, система керування, електропривід з опорно-поворотним пристроєм. Розглянемо роботу кожного із складових елементів [7,8].

2.2.1. Основні принципи моделювання опорно-поворотного пристрою.

Будемо вважати, що для ланок опорно-поворотного пристрою (ОПП) з усіма елементами діють закони динаміки рухомого твердого тіла.

Будемо розглядати рух кожної ланки як рух окремого тіла з своїми зв'язками між ланками. Не враховуючи дію сил керування і їх моментів можна записати кінематичні співвідношення, що визначають швидкість, прискорення і положення ланок ОПП.

На рис.2.3 приведена модель ОПП опромінювальної установки, яка дозволяє проводити розрахунок заданої траєкторії руху потоку випромінювання.

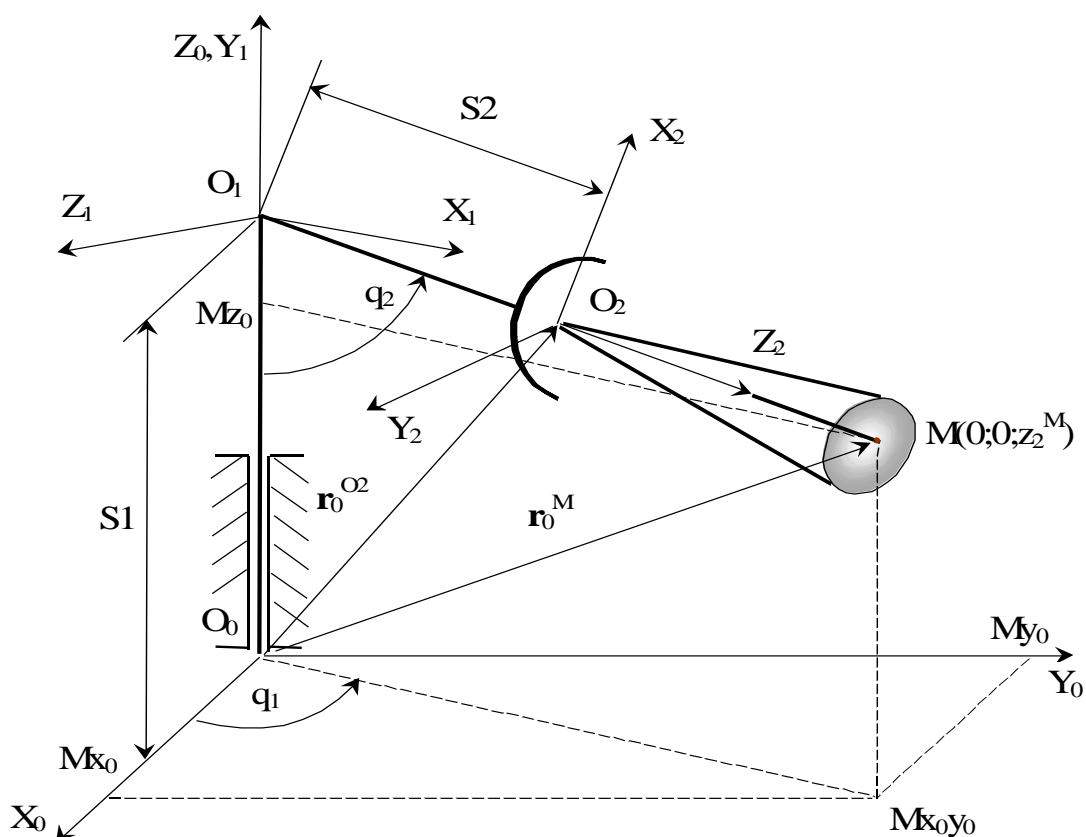


Рисунок 2.3 - Математична модель рухомої опромінювальної установки

Для даної моделі виберемо нерухомою нульову систему координат і відносно неї будемо розглядати всі інші координатні системи. Виходячи із приведених конструкцій опромінювальних установок, в яких опромінювач здійснює переміщення у вертикальній та горизонтальній площинах, що вказує на два ступені вільності опорно поворотного пристрою. В якості узагальнених і незалежних координат використаємо кути поворотів ланок ОПП q_1, q_2 . Їх можна співставити з кутами повороту валу двигунів, а також з відповідним переміщенням опромінювача.

2.2.2 Вибір систем координат

Довільний вибір для даної моделі систем координат буде вимагати шести параметрів для того щоб описати рух опромінювача в просторі. Щоб зменшити число параметрів виконаємо спеціальний вибір систем координат. Їх пронумеруємо індексами 0, 1, 2. Як уже було вказано вище, нульову систему координат $O_0X_0Y_0Z_0$ прив'яжемо до нерухомої основи поворотного пристрою.

1. Систему координат $O_1X_1Y_1Z_1$ прив'яжемо до ланки 1. В точці перетину осей O_0Z_0 і O_1Z_1 розташовуємо початок координат O_1 . Напрямаємо вісь O_1X_1 по перпендикуляру до осей O_0Z_0 і O_1Z_1 . Вісь O_1Y_1 доповнюватиме систему координатних осей до правої системи.

2. До ланки 2 прив'яжемо систему координат $O_2X_2Y_2Z_2$. Вісь O_2Z_2 співставляємо оптичною віссю опромінювача. Початок координат O_2 розташовуємо в центрі джерела випромінювання. Перпендикулярно до O_1Z_1 і O_2Z_2 направляємо вісь O_2X_2 . Вісь O_2Y_2 доповнює осі O_2X_2 і O_2Z_2 до правосторонньої трійки векторів.

Положення точки М задається вектором r_2^M з координатами $(0,0,Z_2^M)$ в системі $O_2X_2Y_2Z_2$. Пучок променів направляємо в дану точку і будемо вважати, що він співпадає з оптичною віссю опромінювача.

Таким чином вибрані системи координат дозволяють перейти від шести параметрів для визначення положення опромінювача до двох координат q_1 та q_2 , а всі інші вважати конструктивними параметрами.

2.2.3 Пряма та обернена задачі про положення рухомого опромінювача

Існують пряма та обернена задачі кінематики [3,15]. Пряма задача в даному випадку зводиться до визначення по заданих координатах розташування і орієнтацію в просторі вибраної ланки або т. М в системі $O_0X_0Y_0Z_0$. Необхідність вирішення прямої задачі пов'язане з визначенням положення опромінювача, яке неможливо визначити шляхом безпосереднього вимірювання, тоді як значення координат q_1 , q_2 вимірюються за допомогою відповідних давачів достатньо просто.

Для визначення ці величини Для всіх ланок поворотного пристрою необхідно знати відносне положення ланок в парах, що визначає їх положення в просторі. Це дозволяє визначити швидкість і прискорення опромінювача Пов'язавши з вибраною ланкою i -ту систему координат $O_iX_iY_iZ_i$, Визначення взаємного положення ланок можна звести до задачі перетворення однієї системи в іншу. Такий перехід можна виконати за формулою:

$$r_0^M = \alpha \cdot r_2^M + r_0^{O_2}. \quad (2.5)$$

В даній формулі r_0^M , r_2^M – радіус-вектори точки М в системах координат $O_0X_0Y_0Z_0$ та $O_2X_2Y_2Z_2$, відповідно. Матриця направляючих косинусів α системи координат $O_2X_2Y_2Z_2$ відносно системи $O_0X_0Y_0Z_0$, а радіус-вектор точки O_2 в системі $O_0X_0Y_0Z_0$ - $r_0^{O_2}$.

Дане перетворення в трьохмірному просторі зручно описувати за допомогою спеціальних матриць 4×4 [316], введення яких тісно пов'язане з поняттям однорідних координат проективного простору x_1, x_2, x_3, x_4 , які одночасно не дорівнюють нулю і пов'язані з координатами x, y, z рівняннями:

$$x_1 = x/x_4 \quad x_2 = y/x_4; \quad x_3 = z/x_4; \quad x_4 \neq 0.$$

Якщо $x_4 = 1$, то $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$, а однорідні координати довільного вектора запишуться як $R(x, y, z, 1)$. В однорідних координатах рівняння (2.5) матиме вигляд:

$$R_0^M = A \cdot R_2^M; \quad (2.6)$$

де R_0^M та R_2^M – радіус-вектори т. М, записані за допомогою однорідних координат в системах $O_0X_0Y_0Z_0$ та $O_2X_2Y_2Z_2$, відповідно;

A – матриця переходу від $O_2X_2Y_2Z_2$ до $O_0X_0Y_0Z_0$, розміром 4×4 .

Перехід від $O_2X_2Y_2Z_2$ до $O_0X_0Y_0Z_0$ здійснимо шляхом повороту і переносу системи координат $O_0X_0Y_0Z_0$ відносно осей O_0X_0 , O_0Y_0 , O_0Z_0 до суміщення її з системою $O_2X_2Y_2Z_2$. Оскільки такі перетворення є ортогональними то можна записати:

$$R_2^M = A^{-1} \cdot R_0^M, \quad (2.7)$$

де A^{-1} – матриця обернена до A .

Таким чином вирішення прямої задачі кінематики в запропонованій математичній моделі проводиться по наступному алгоритму:

а) задаються значення узагальнених координат q_1, q_2 ;

б) обчислюється значення елементів матриці A ;

в) визначається просторова конфігурація ОПП ОУ.

Матрицю A в даному випадку можна представити у вигляді добутку матриць

$$A = T_1 \cdot T_2; (2.8)$$

де T_1, T_2 – матриці переходу від систем координат $0_1X_1Y_1Z_1$ до $0_0X_0Y_0Z_0$ та від $0_2X_2Y_2Z_2$ до $0_1X_1Y_1Z_1$, відповідно.

Результати розрахунку. Для прикладу візьмемо опромінювальну установку з круглосиметричним опромінювачем з відбивачем РСП-04В та лампою ДНаТ-400, який рухається одночасно в горизонтальній та вертикальній площинах.

Розрахунок проводився з використанням розробленого програмного забезпечення [7].

Застосуємо дану математичну модель для визначення законів зміни узагальнених координат $q(t)$, швидкостей і прискорень опромінювача для заданої траєкторії руху точки М, в яку направляється пучок променів від ОП.

Для розрахунку задамо поверхню, яка опромінюється, розмірами $lx \times ly$, а траєкторію переміщення точки М у вигляді спіралі з певними межами:

$$- \begin{cases} x_o^M = (a\omega t + x_o) \cdot \cos\omega t; \\ y_o^M = (a\omega t + y_o) \cdot \sin\omega t; \\ z_o^M = 0; \\ t \in [0; t_1]. \end{cases} \quad (2.9)$$

Розрахунок параметрів опромінювача проводився схемі:

- визначали залежності $q_1(t)$, $q_2(t)$ за відповідними формулами;
- для опромінювача визначалися кутові швидкості і прискорення.

Задавались наступні параметри: $S_1=2\text{м}$; $S_2=0\text{ м}$; $x_o=y_o=0\text{ м}$; $t_1=100\text{ с}$; $f=0.3\text{ Гц}$; $a=1/2\pi$; розмір ділянки $20 \times 20\text{ м}$. Результати розрахунку показані на рис. 2.4.

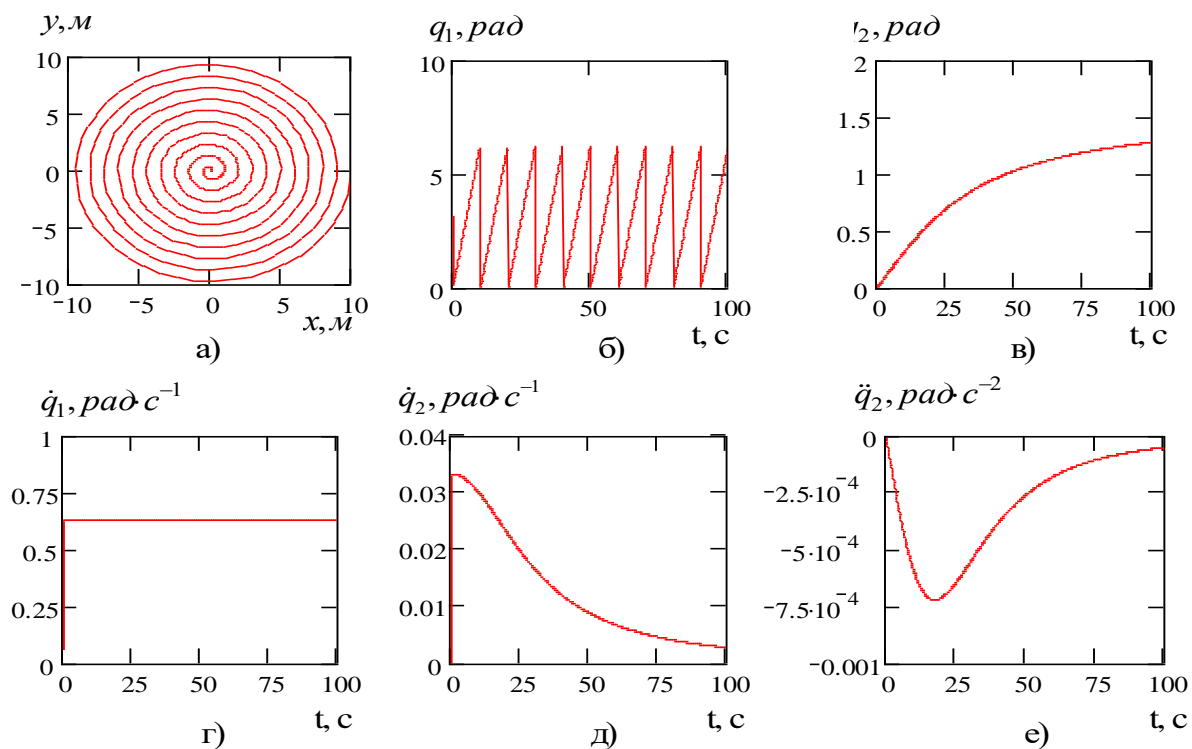


Рисунок 2.4 - Параметри руху точки М рухомої ОУ: (а) - траєкторія руху; (б, в) - часові залежності узагальнених координат; (г, д, е) - часові залежності узагальнених швидкостей і прискорення

2.3. Система керування

Узагальнена структурна схема системи керування електроприводу ОУ з обертанням опромінювача навколо вертикальної і горизонтальної осей приведена на рис. 2.5.

Система керування повинна забезпечити:

а) керування режимом роботи опромінювача відбувається у відповідності до заданих умов опромінення і стану навколишнього середовища;

б) прийом і інтерпретацію команд, що поступають з бази даних автоматизованої керуючої системи на базі мікроконтролера МК або пульта ручного керування;

в) при наявності декількох опромінюючих установок можливість побудови на її базі сіткової структури з технологічно розподіленими установками.

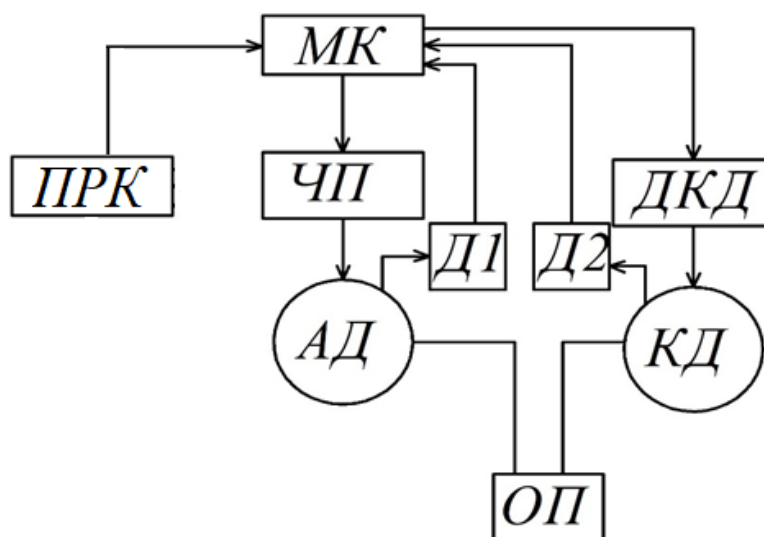


Рисунок 2.5 - Структурна схема системи керування електроприводу ОУ з обертанням опромінювача навколо вертикальної і горизонтальної осей: МК – мікроконтролер; ЧП – частотний перетворювач; АД – асинхронний двигуни; КД – кроковий двигун; ДКД – драйвер крокового

двигуна; Д1, Д2 – давачі положення, швидкості і прискорення опромінювача; ОП– опромінювач; ПРК – пристрій ручного керування

Система керування роботою опромінювача виконана на базі мікроконтролера КМ1816ВЕ51. Мікроконтролер формує певну послідовність керуючих команд з заданою частотою оновлення на основі аналізу вхідної інформації з бази даних та давачів положення опромінювача Д1, Д2. З відповідною точністю вони визначають положення опромінювача по траєкторії руху. Ці давачі підключені до інформаційної шини мікроконтролера МК.

Команди, які поступають з МК забезпечують необхідний закон функціонування опромінювальної установки.

Дана система керування опромінювальною установкою, є послідовно слідкуючим приводом. Її переваги:

- а) підвищена заводозахисність;
- б) для руху у вертикальній площині відсутня необхідність у колах зворотного зв'язку;
- в) високі динамічні параметри;
- г) простота спряження з МК.

Задача керування роботою ОУ зводиться до видачі МК двох цифрових кодів q_1 , q_2 , які необхідні для визначення кутів повороту валу двигунів поворотного пристрою ОУ, швидкості їх зміни, положення джерела випромінювання.

Принципова схема мікроконтролерного модуля подана на рис. 2.6, а загальна блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера на рис. 2.7.

В системі керування ОУ передбачено також можливість роботи в режимі "Ручне керування", коли команди на вхід МК поступають з пульта ручного керування ПРК (рис. 2.5). При цьому вихід з режиму проходить автоматично при знятті оператором запиту на "Ручне керування". Блок-схема алгоритму роботи підпрограми в режимі "Ручне керування"

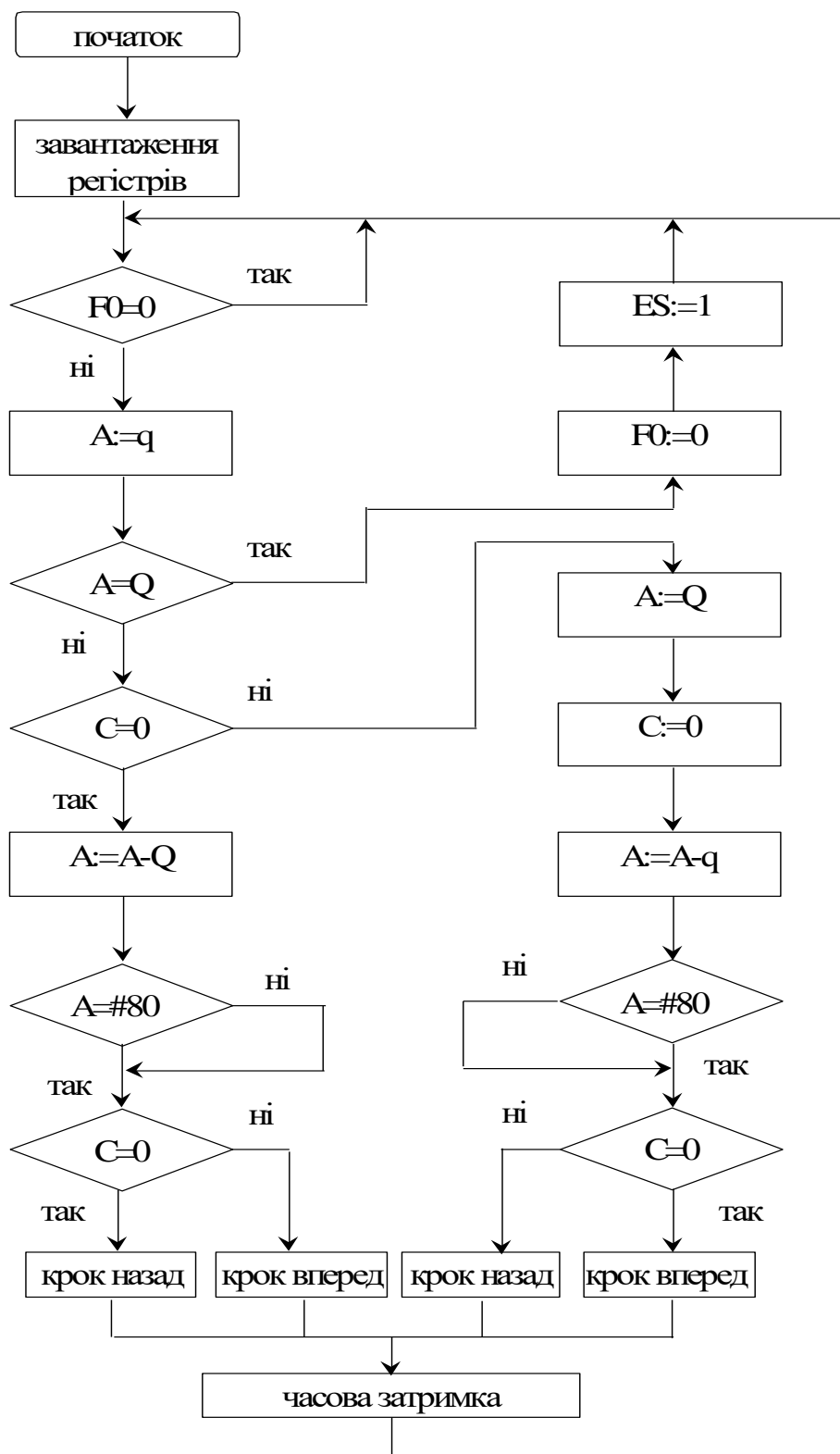


Рисунок 2.7 - Блок-схема алгоритму роботи системи керування в автоматичному режимі

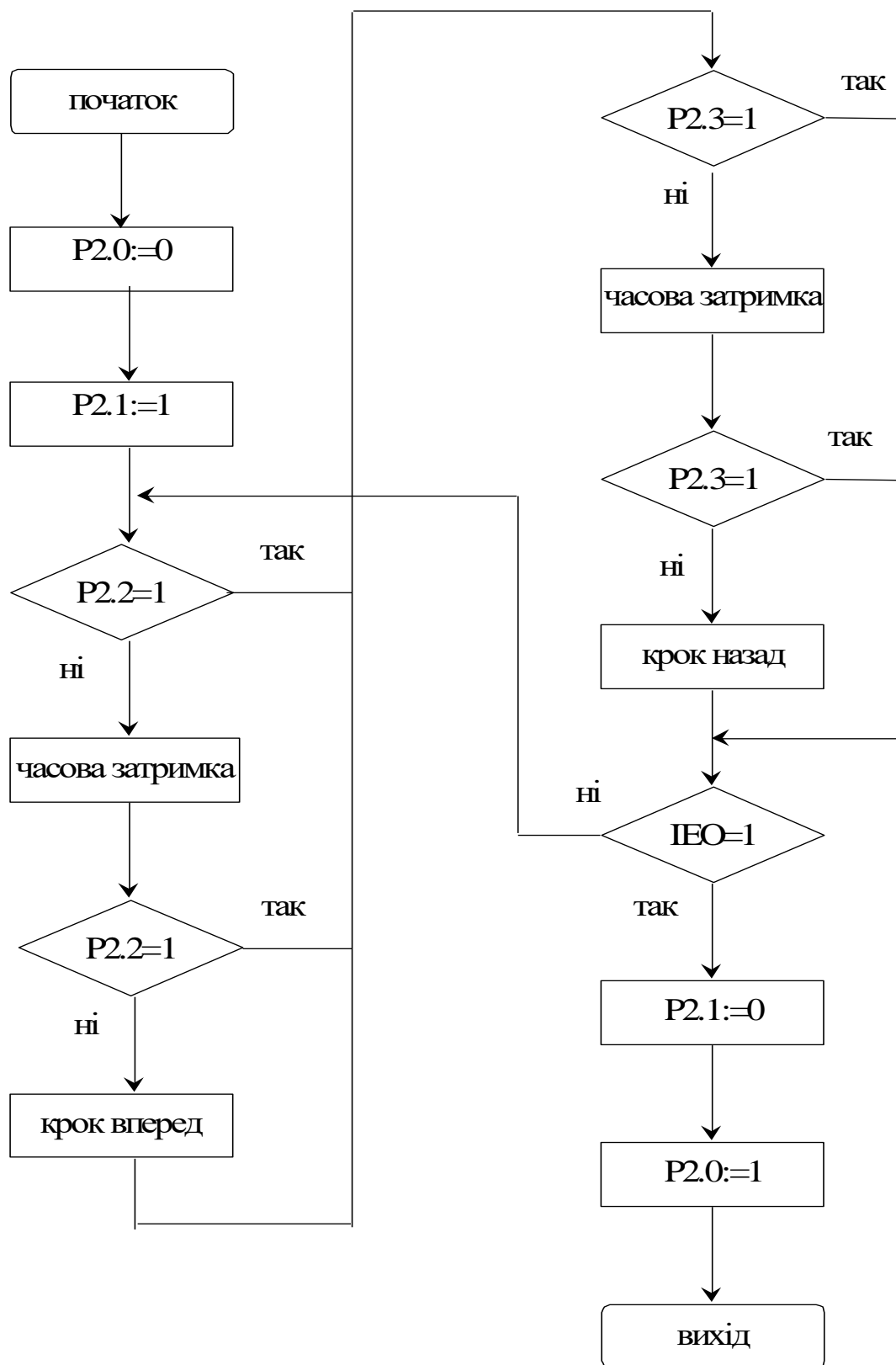


Рисунок 2.8 - Блок-схема алгоритму роботи системи керування в режимі "Ручне керування"

2.4 Частотний перетворювач для електропривіду асинхронного двигуна

Для керування роботою асинхронного двигуна з КЗ ротором було вибрано частотне керування за допомогою перетворювача частоти. Узагальнена структурна блок-схема частотного керування роботою асинхронного двигуна приведена на рис. 2.9. Принципова схема перетворювача частоти приведена на рис.2.10.

Частотний перетворювач складається із трьох основних блоків:

- блоку керування з мікроконтролером і зовнішнім інтерфейсом;
- блок шини постійного струму, на якій розташований блок живлення і блок конденсаторів;
- силовий блок, до складу якого входить IGBT модуль, силовий вхід і вихід, вимірювачі струму, електромагнітний ЕМІ фільтр.

До блоку керування входить мікроконтролер, електрична схема підключення якого зображена на рис.2.11, і гальвано ізольовані зовнішні інтерфейси: інтерфейс для підключення зовнішнього квадратурного енкодера; інтерфейс RS232; інтерфейс CAN; інтерфейс USB; три дискретні виходи та один дискретний вхід. Блок керування з'єднаний із силовим блоком відповідним шлейфом, по якому надходять сигнали керування, а також сигнали вимірюного струму і напруги.

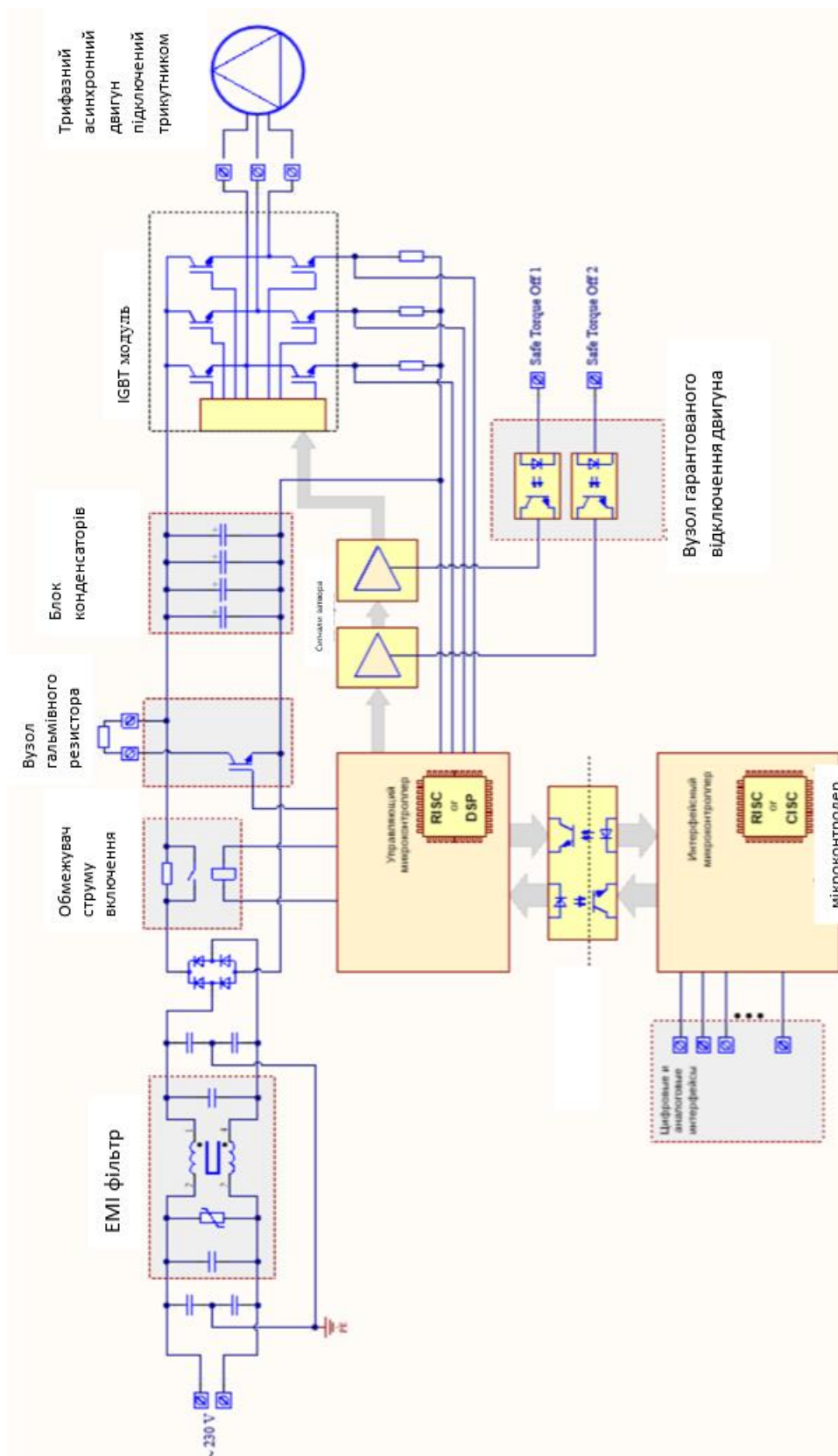


Рисунок 2.9 - Узагальнена блок-схема частотного керування роботою асинхронного двигуна

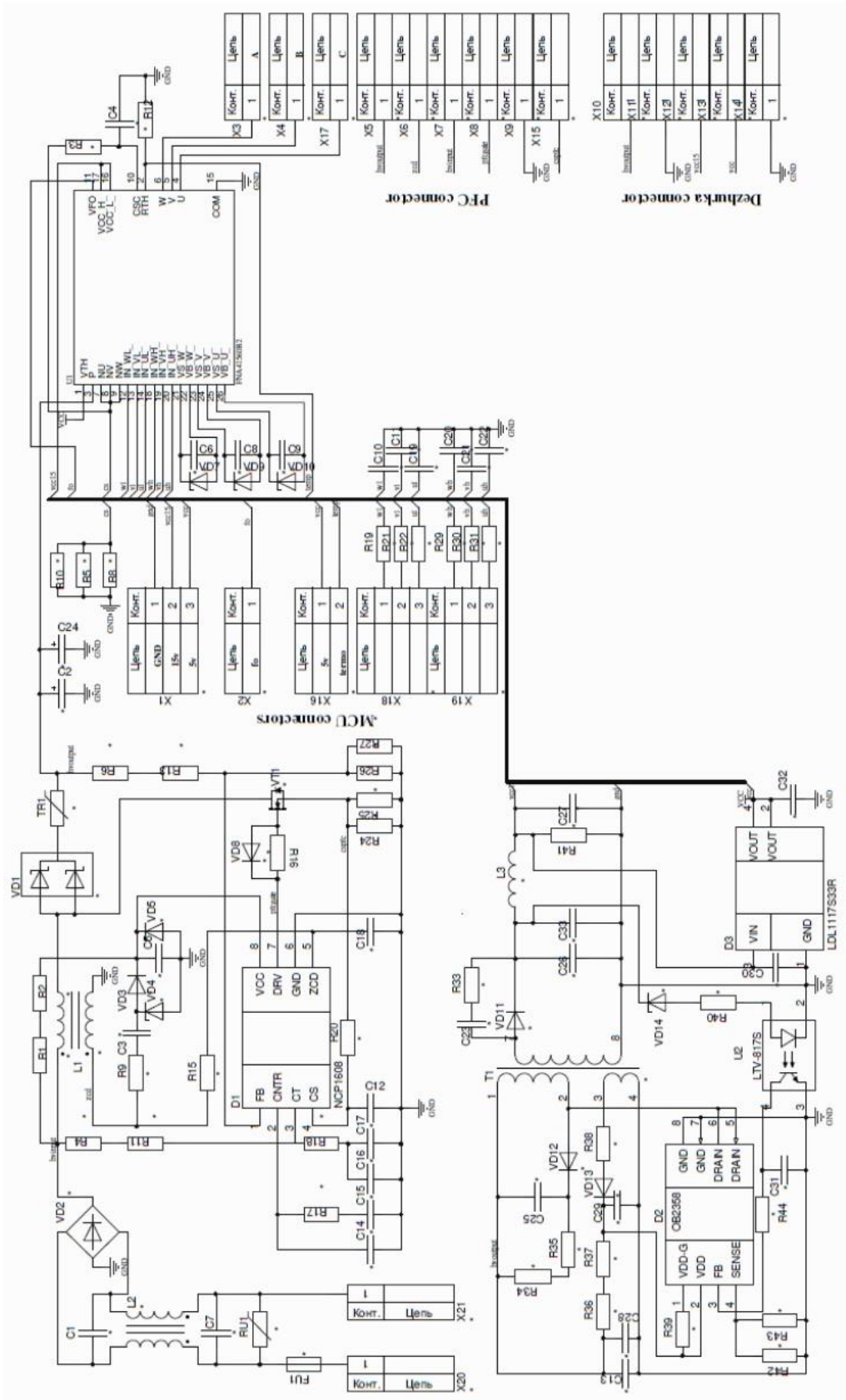


Рисунок 2.10 - Принципова схема перетворювача частоти для керування роботою асинхронного двигуна

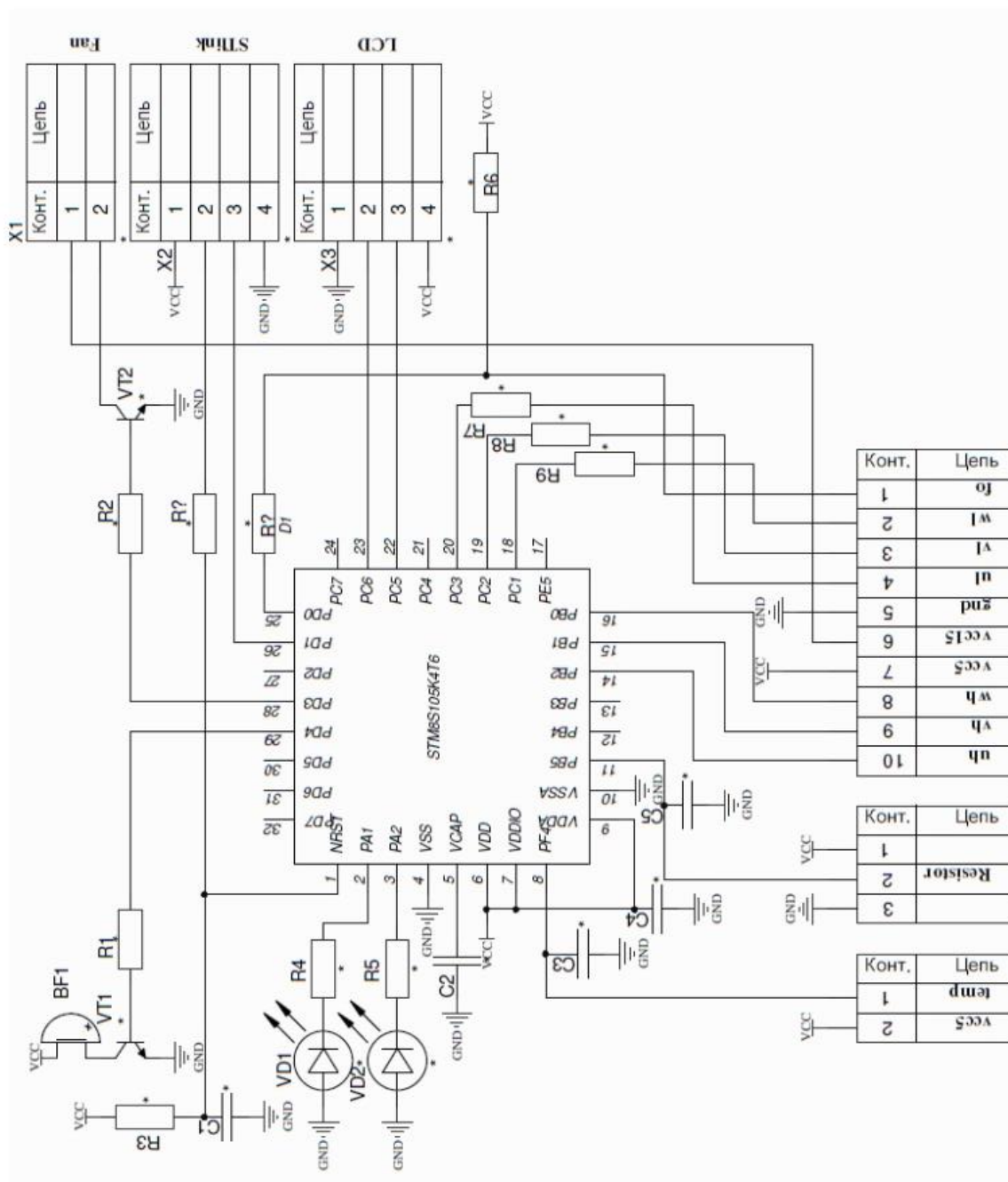


Рисунок 2.11 - Схема підключення мікроконтролера STM8S105K4T6 для керування роботою перетворювача частоти

В блоці шини постійного струму розташований блок живлення у вигляді окремого модуля та блок електролітичних конденсаторів. Тут же розташована система керування вентиляторами, які забезпечують стабільність температури IGBT модуля.

Основним елементом силового блоку є модуль IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) або біполярний силовий транзистор із ізольованим затвором – елемент із двох транзисторів у загальній напівпровідниковій структурі, влаштований за каскадною схемою. Біполярний транзистор утворює силовий канал, польовий транзистор - канал управління.

IGBT модулі є одними із найважливіших елементів силової електроніки. На їх основі будуються майже всі безтрансформаторні перетворювачі струму та напруги, інвертори, частотні перетворювачі.

До силового блоку також входить реактивний фільтр електротехнічних перешкод, або скорочено ЕМІ фільтр. Дані фільтри застосовуються для виконання вимог електромагнітної сумісності, які ставляться до електротехнічної апаратури. Вони зменшують рівень перешкод, джерелом яких є широтноімпульсний інвертор перетворювача частоти.

ЕМІ-фільтр встановлюється якомога ближче до силового входу частотного перетворювача. У деяких випадках ЕМІ-фільтр може бути вбудований у корпус частотного перетворювача. Рівень електромагнітних випромінювань також великою мірою залежить від довжини та способу укладання силових кабелів.

Висновки до розділу 2

1. В основу будови установки змінного опромінення покладено коловий рух опромінювача навколо вертикальної осі, або навколо вертикальної і горизонтальної осей.

2. Електропривід даних установок відноситься до механізмів, для яких показник ступеня в рівнянні (1.2) $x=0$ і статичний момент опору руху опромінювача не залежить від швидкості.

3. Для обертання опромінювача у горизонтальній площині взято асинхронний мотор-редуктор 5IK60GN з передаточним числом редуктора 1:200 та номінальною швидкістю обертання двигуна 1500 об/хв. Для керування швидкістю обертання мотор-редуктора використано однофазний частотний перетворювач потужністю 0,18 кВт, що дало змогу регулювати швидкість валу редуктора від 2 до 7,5 об/хв.

4. Для переміщення опромінювач у вертикальній площині використовували кроковий двигун nema 23 (23HS2430), в якого струм фази - 3.0 А, утримуючий момент - 280 Н·см та драйвер DM556.

5. Запропонована математична модель рухомої опромінювальної установки яка дозволяє проводити розрахунок заданої траєкторії руху опромінювача, його швидкість та прискорення. Приведено приклад розрахунку даних параметрів.

6. Система керування роботою опромінювача виконана на базі мікроконтролера KM1816BE51. Задача керування роботою ОУ зводиться до видачі МК двох цифрових кодів q_1 , q_2 , які необхідні для визначення кутів повороту валів двигунів поворотного пристрою ОУ, швидкості їх зміни, положення джерела випромінювання.

7. Для керування роботою асинхронного двигуна з КЗ ротором було вибрано частотне керування. Описано принц побудови частотного перетворювача. Приведено принципову схему перетворювача частоти для керування роботою асинхронного двигуна.

8. Приведено блок-схеми алгоритму роботи системи керування опромінювальною установкою в ручному та автоматичному режимах.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Світлотехнічний розрахунок ОУ постійної дії з симетричним світловим розподілом опромінювача

В даному розділі описано методику розрахунку параметрів світлового поля при використанні опромінювальних установок змінного опромінення. Для параметра світлового поля обрано опромінення фотосинтезно активної радіації (ФАР) та її часові залежності. Визначалися залежності опромінення від координат ОП та його світлового розподілу.

Розглянемо загальний випадок розрахунку опромінення від ОП із симетричним світловим розподілом, який заданий залежністю $I=f(\alpha)$, де α – кут між оптичною віссю пристрою і вибраним напрямком. Нехай на деякій відстані від нього, яка значно перевищує його розміри, що дозволяє вважати джерело випромінювання точковим, розташована опромінювальна поверхня S , довільно орієнтована в просторі. Виділимо елемент поверхні dS , який охоплює довільну точку поля випромінювання C (рис. 3.1). Оптична вісь опромінювача задана вектором \vec{AI} .

Опромінення елементарної поверхні dS згідно закону квадратів відстаней запишемо як:

$$E_C = \frac{I(\alpha)}{(AC)^2} \cdot \cos\gamma, \quad (3.1)$$

де γ – кут між напрямком сили випромінювання в точці C і нормаллю до dS .

Перетворимо дане рівняння до більш зручного для практичних розрахунків вигляду, використавши поняття скалярного добутку між двома векторами:

$$E_c = \frac{I(\alpha) \cdot (\overline{AC} \cdot (-\overline{N}))}{|\overline{AC}|^3}, \quad (3.2)$$

оскільки

$$\cos \gamma = \frac{(\overline{AC} \cdot (-\overline{N}))}{|\overline{AC}|}.$$

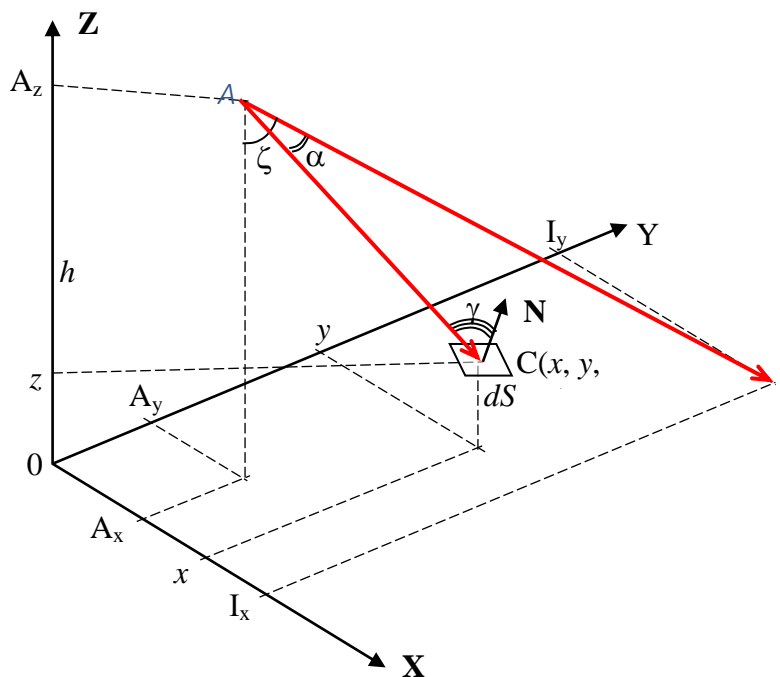


Рисунок 3.1 - Геометрична модель світлотехнічної системи опромінювач – поверхня опромінення: AI – оптична вісь опромінювача; ζ та α кутові параметри потоку випромінювання, N — одиничний вектор нормалі до поверхні dS

Для більшості світлових приладів з круглосиметричною діаграмою направленості світлового потоку $I(\alpha)$ задається у вигляді таблиці або графічно при зміні кута $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Світловий розподіл опромінювача

вимірювався на гоніофотометричній установці в світлотехнічній лабораторії. На основі отриманих експериментальних результатів криву світлорозподілу представляли аналітичним виразом $I(\alpha)$. Для цього графічну залежність $I(\alpha)$ обробляли кубічним сплайном. Після цього, по нових табличних даних, з використанням методу апроксимації поліномом отримували вираз $I(\alpha)$ у вигляді

$$I(\alpha) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n A_i \cdot \alpha_i & 0 \leq \alpha \leq \alpha_{zp} \\ 0 & \alpha > \alpha_{zp} \end{cases} \quad (3.3)$$

де α_{zp} – граничний кут для якого можна вважати $I(\alpha)=0$.

Якщо світловий розподіл ОП збігається з одним із стандартизованих випадків, який описується відповідною аналітичною залежністю $I(\alpha)$ то її також можна використати для розрахунку.

Розрахунок опромінення вибраної площини S (довільно орієнтованої) проводився по складеній програмі за наступною схемою:

- задаються координати точки розташування ОП та кут кутові параметри ζ і α його оптичної осі;
- задаються розміри ділянки S та напрямок нормалі $\vec{N}(N_x, N_y, N_z)$;
- ділянка представляється у вигляді елементарних квадратів з стороною Δ ;
- якщо за одиницю прийняти сторону Δ , то кожний квадрат можна представити цілими числами (i, j) , які будуть його координатам;
- після цього для кожного Δ_{ij} розраховуємо його опромінення E_{ij} на поверхні S ;

- за формулою (3.2) визначаємо середні значення опромінення E_{ij} і записуємо їх елементами матриці $\{E\}$.

Для прикладу візьмемо опромінювальний пристрій з відбивачем РСП-04В та лампою ДРІ-1000-2, який має круглосиметричний світловий розподіл. Задамо розміри ділянки ($R_x=8$ м, $R_y=12$ м), положення ОП ($h=2$ м, $\zeta=40^\circ$) та розміри елементарної площадки $\Delta=0,4$ м. Розрахунок її опромінення виконаємо по вказаній схемі.

На рис. 3.2 наведені криві однакового горизонтального опромінення ФАР прямокутної ділянки, побудовані за даними таблиці E_{ij} .

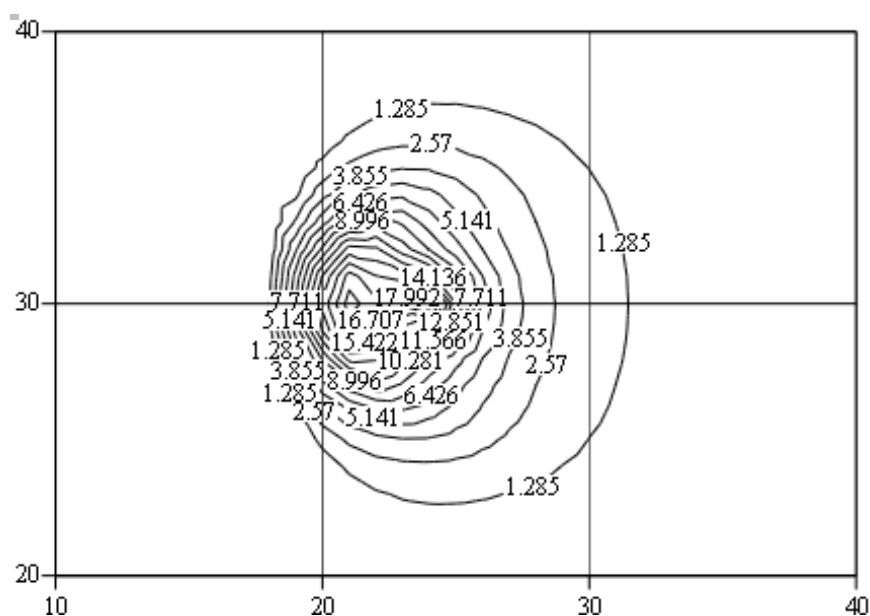


Рисунок 3.2 - Криві однакового горизонтального опромінення ФАР ($\text{Вт}/\text{м}^2$) прямокутної ділянки від опромінювача РСП-04В з ДРІ-1000-2, розташованого в точці $A(20\Delta, 30\Delta, 5\Delta)$ під кутом $\zeta=40^\circ$ до вертикалі

3.2 Світлотехнічний розрахунок ОУ змінного опромінення

Перейдемо до змінного опромінення і проробимо такий же розрахунок для вказаної вище ділянки.

Нехай вибраний нами опромінювач розташований під кутом ζ до вертикалі здійснює коловий рух навколо вертикальної осі. Розрахуємо середнє значення опромінення прямокутної ділянки розміром $2R_x \times 2R_y$ за один період обертання.

За цей час опромінювач повертається на кут 2π , який розіб'ємо на n однакових елементарних кутів величиною $\delta = 2\pi/n$. Для кожного елементарного повороту визначимо опромінення $E_{i,j}(k)$ кожного елемента розбиття $\Delta_{i,j}$ і побудуємо матрицю $\{\mathbf{E}(k)\}$, де $k=0, \dots, n-1$. Опромінення кожної ділянки за період обертання ОП визначимо за формулою:

$$W_{i,j} = \sum_{k=0}^{n-1} E_{i,j}(k). \quad (3.4)$$

Середнє значення опромінення елементарної ділянки $\Delta_{i,j}$ запишемо як:

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=0}^{n-1} E_{i,j}(k) \quad (3.5)$$

і побудуємо матрицю $\{\boldsymbol{\varepsilon}\}$, елементами якої є $\varepsilon_{i,j}$.

На рис. 3.3 показані криві однакового опромінення ФАР горизонтальної площини від опромінювача РСП-04В з ДРИ-1000-2, розташованого в центрі площадки розміром $2R_x \times 2R_y$, оптична вісь якого нахилена під кутом ζ до вертикалі, і який здійснює коловий рух навколо вертикальної осі.

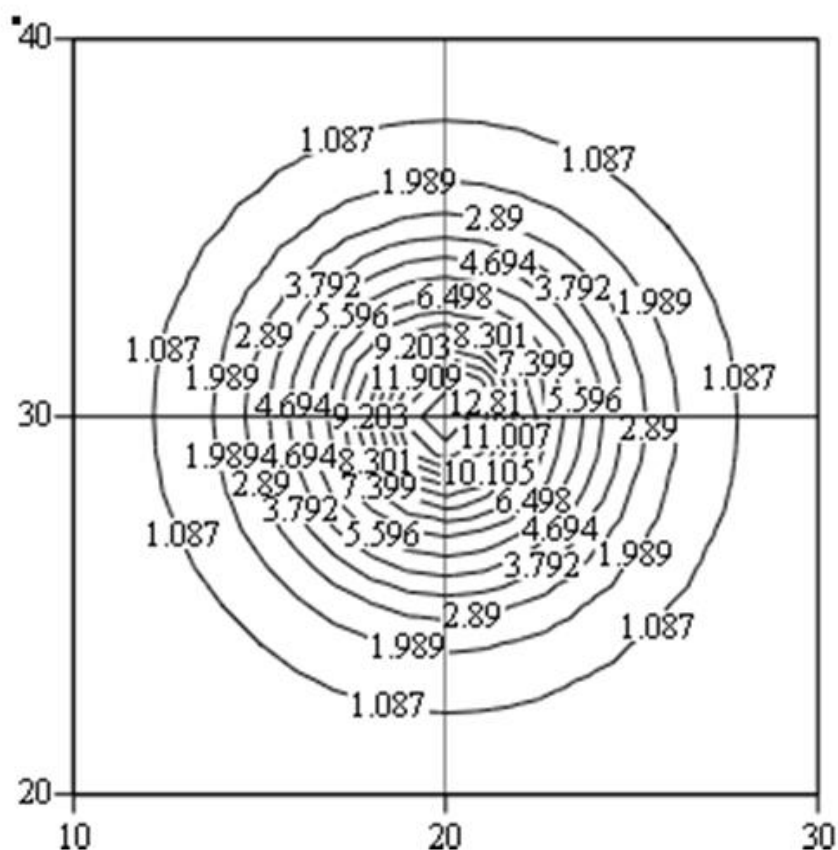


Рисунок 3.3 - Криві однакового опромінення ФАР ($\text{Вт}/\text{м}^2$) від опромінювача РСІ-04В з ДРІ-1000-2 протягом одного періоду обертання

3.3 Світлотехнічний розрахунок для декількох опромінювальних установок змінного опромінення

Розрахунок опромінення вибраної ділянки $R_x \times R_y$, від ОУ, яка має декілька опромінювальних пристроїв з обертальним рухом опромінювачів, було проведено для двох схем розміщення ОП — у вершинах квадратів та у вершинах рівносторонніх трикутників (рис.3.4). При цьому використовувався принцип суперпозиції світлових полів від різних опромінювальних елементів та метод трансляції матриці

опромінення $\{\epsilon\}$ елементарних ділянок, яка була отримана для кожного опромінювача з кутом нахилу ζ за один період обертання.

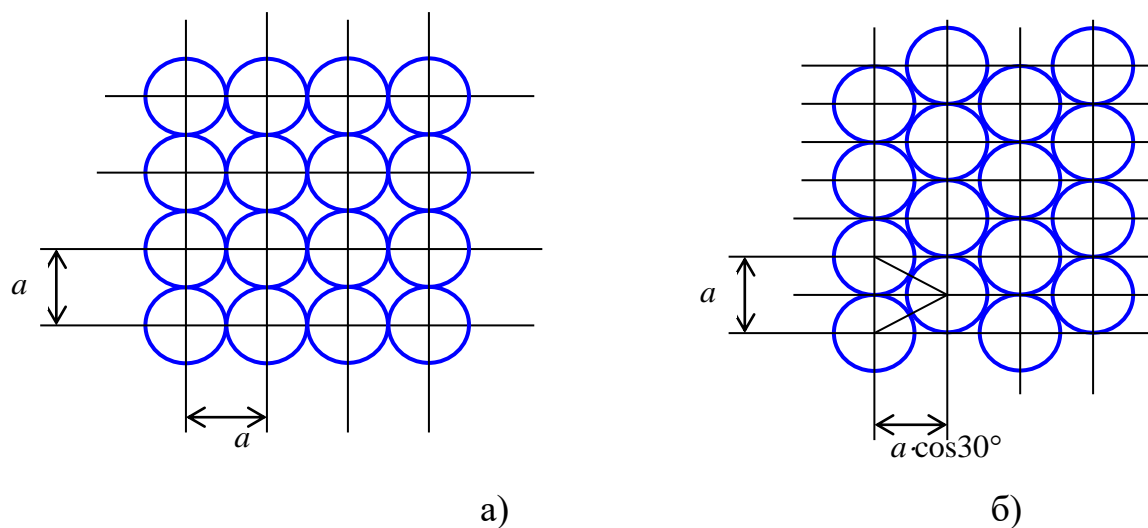


Рисунок 3.4 - Схеми розміщення опромінювачів:

а) у вершинах квадратів;

б) у вершинах рівносторонніх трикутників

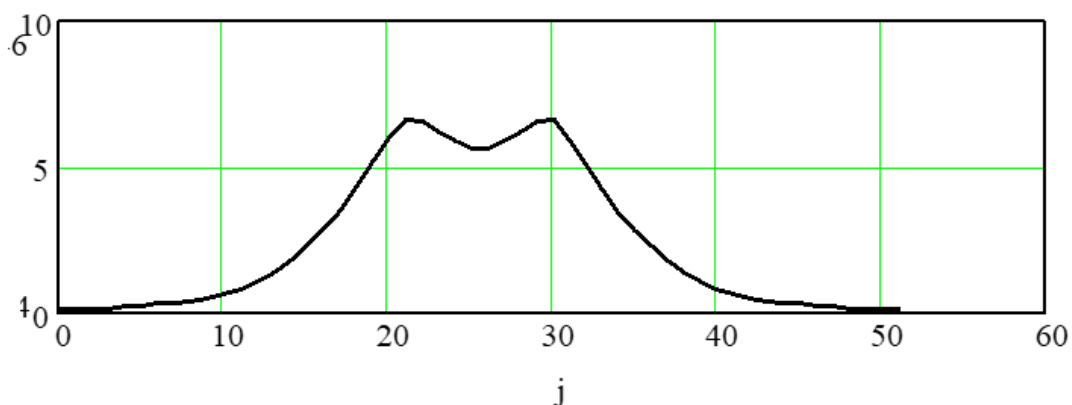


Рисунок 3.5 - Крива розподілу горизонтального опромінення між двома опромінювачами РСП-04В з ДРИ-1000-2, розташованими на висоті $h=2.5$ м з кутом нахилу $\zeta=50^\circ$

При визначенні періоду трансляції a вибиралась така відстані між сусідніми ОП, на якій опромінення горизонтальної площини між ними,

було максимально однорідним. З рис. 3.5 випливає, що для опромінювача РСП-04В з ДРІ-1000-2, розташованого на висоті $h=2.5$ м з кутом нахилу $\zeta=50^\circ$, $-a=9 \cdot \Delta=3.6$ м.

На рис. 3.6 та рис. 3.7 приведені графіки розподілу опромінення горизонтальної площини для вибраних схем розміщення опромінювачів змінного опромінення.

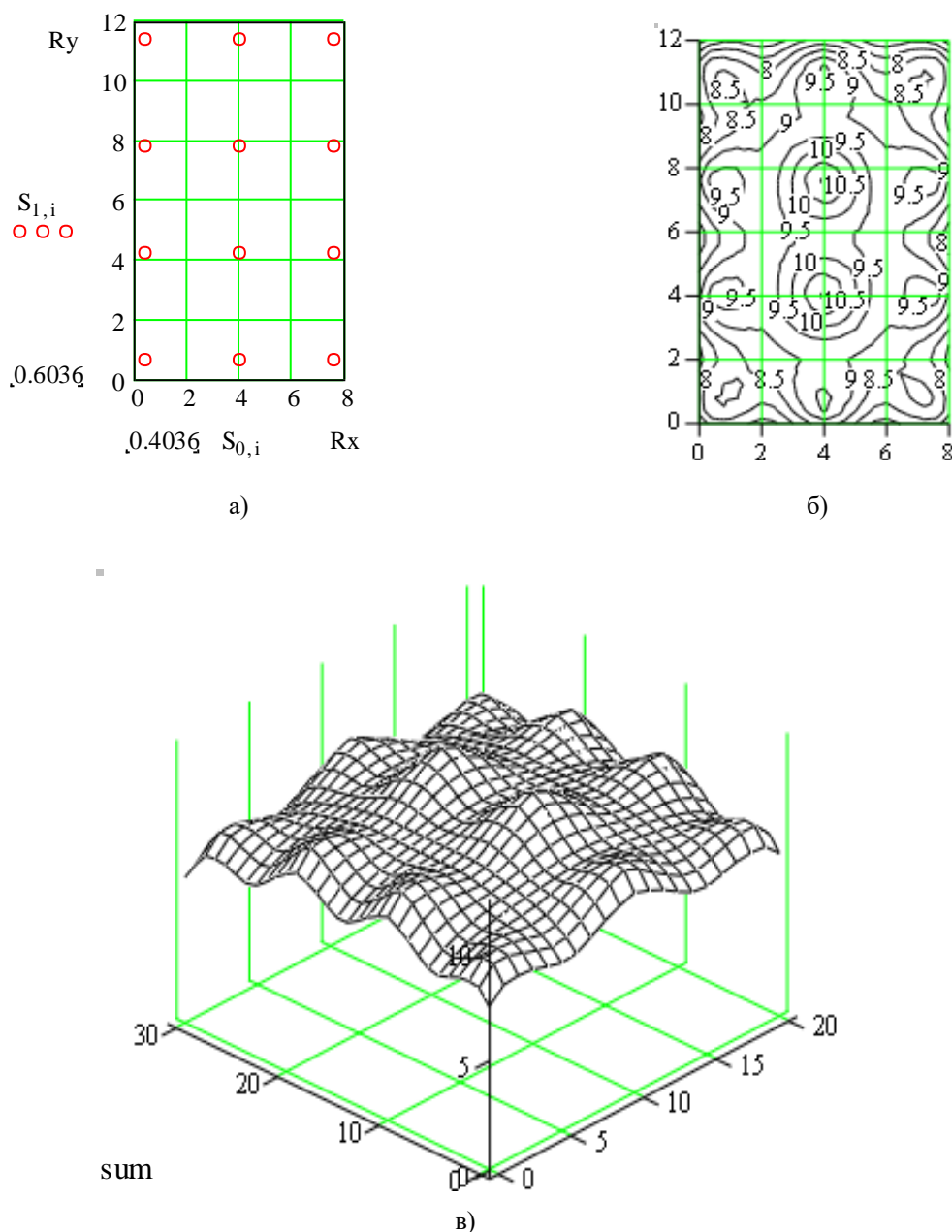


Рисунок 3.6 - Розподіл опромінення ФАР ($\text{Вт}/\text{м}^2$) ділянки посіву $8\text{м} \times 12\text{м}$ від ОСУ з обертальним рухом опромінювачів розміщених у

вершинах квадратів: а) положення опромінювачів; б) криві однакового опромінення; в) графічне зображення просторового розподілу опромінення.

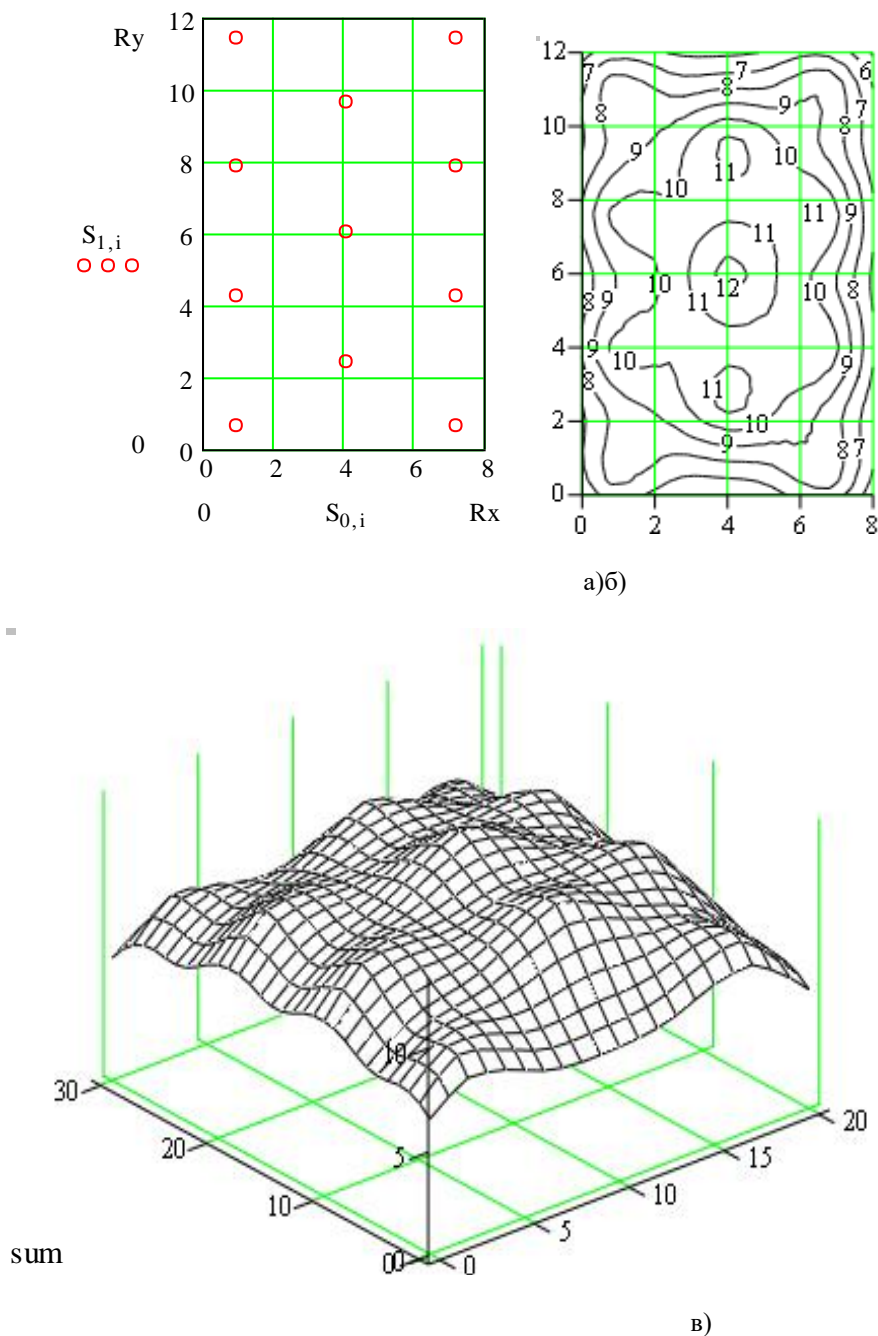


Рисунок 3.7 - Розподіл опромінення ФАР ($\text{Вт}/\text{м}^2$) ділянки посіву $8\text{м} \times 12\text{м}$ від ОСУ з круговим рухом опромінювачів при їх розміщенні у вершинах рівносторонніх трикутників: а) положення опромінювачів; б)

криві однакового опромінення; в) просторовий графік розподілу опромінення

З проведеного розрахунку випливає, що для забезпечення середнього опромінення ФАР $10-11 \text{ Вт/м}^2$ ділянки площею $S=96\text{м}^2$ при розташуванні опромінювачів у вершинах квадратів (рис. 3.4, а), потрібно 12 опромінювачів РСП-04В з ДРИ-1000-2 та прецесійним рухом.. При цьому максимальне середнє опромінення дорівнює 10.5 Вт/м^2 , а мінімальне $8 - 8.5 \text{ Вт/м}^2$, що припадає на краї опромінювальної ділянки.

При розташуванні їх у вершинах рівносторонніх трикутників (рис. 3.4, б) необхідно 11 вище вказаних опромінювачів, а середнє опромінення ФАР вибраної ділянки змінюється від $11...12 \text{ Вт/м}^2$ до $7...8 \text{ Вт/м}^2$.

Висновки до розділу 3

1. Проведено світлотехнічний розрахунок опромінювальної установки змінного опромінення з обертальним рухом опромінювача та круглосиметричним світловим розподілом.

2. Для розрахунку світлового поля для декількох ОУ змінного опромінення використано принцип суперпозиції світлових полів від різних опромінювальних елементів та метод трансляції матриці опромінення $\{\epsilon\}$ елементарних ділянок.

3. Представлено результати світлотехнічного розрахунку для 10 ОУ з обертальним рухом опромінювача та різним геометричним розташуванням.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація охорони праці на підприємстві

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Дія закону “Про охорону праці” поширюється на всі підприємства не залежно від форм властивості та видів їх діяльності, а також на всіх громадян, які працюють на цих підприємствах [8].

Організацією охорони праці на підприємстві займається власник (керівник). Для цього він забезпечує функціонування систем управління охороною праці:

1) створює відповідні служби і призначає посадових осіб, відповідальних за вирішення питань з охорони праці;

2) забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків і профзахворювань;

3) здійснює постійний контроль за дотриманням працівниками правил експлуатації машин, механізмів, обладнання;

4) здійснює контроль за користуванням та індивідуальними засобами захисту;

5) при виникненні надзвичайних ситуацій і нещасних випадків, власник зобов'язаний вжити термінових засобів для допомоги потерпілим.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо директору підприємства і виконує наступні функції:

- проводить керівництво роботою з охорони праці;

- забезпечує інструкціями, стандартами та іншими нормативними документами;
- веде облік і аналіз нещасних випадків і профзахворювань;
- бере участь у розслідуванні нещасних випадків;
- забезпечує колективними та індивідуальними засобами захисту працюючих;
- забезпечує проведення навчання та інструктажів з охорони праці, своєчасне проведення атестацій і переатестацій робітників, які виконують роботи підвищеної небезпеки.

Навчання та інструктаж працівників з питань охорони праці проводиться з працівниками, які поступають на роботу, та в процесі їх трудової діяльності.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на: вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий [8].

Вступний інструктаж проводиться з усіма щойно прийнятими на роботу працівниками, з учнями та студентами, які проходять практику.

Первинний інструктаж проводиться на робочому місці з новоприйнятими працівниками, або з групою осіб однієї спеціальності.

Повторний інструктаж проводиться з усіма працівниками на робочому місці через певні проміжки часу.

Позаплановий інструктаж проводиться у випадках введення в дію нових актів про охорону праці, заміні або модернізації устаткування, при порушенні працівником вимог охорони праці.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками при виконанні разових робіт, які пов'язані з обов'язками за фахом.. Цільовий інструктаж фіксується наряд-допуском, що дозволяє проведення робіт.

Усі інструктажі проводяться керівником робіт (начальником дільниці, майстром).

Про проведення інструктажів, стажуванню та допуск до роботи особа, яка проводила інструктаж, робить запис у журнал. При цьому обов'язкові підписи того, хто проводить інструктаж, і того, хто інструктував. Журнали інструктажів повинні бути пронумерованими, прошнурованими і скріплені печаткою [8].

Керівник підприємства зобов'язаний видати працівникові примірник інструкції з охорони праці за його професією, або вивісити її на робочому місці.

Робоче місце – це зона обслуговування окремим робітником відповідно визначеного місця технологічного процесу. Розмір зони залежить від особливостей технологічного процесу.

З метою економії сил і часу робітника, підвищення його працездатності необхідно раціонально облаштувати робоче місце: раціонально розмістити засоби управління контролю виробничим процесом, забезпечити механізацією та автоматизацією праці.

4.2 Заходи безпеки при обслуговуванні електроустановок

При дослідженні систем живлення електроустановки трансформаторних підстанцій оглядаються без зняття з них напруги, на віддалі від струмоведучих частин. Дефекти виявляються візуально – оглядом і на слух. Право одноособового огляду електроустановки має черговий із кваліфікаційною групою не нижче III або адміністративно-технічний працівник, що має V групу в установках напругою вище 1000 В і IV групу в електроустановках напругою нижче 1000 В [8,9].

При оглядах діючих електроустановок не можна проходити за огороження, знімати їх і входити в камери розподільних пристроїв, що не мають бар'єрів. При необхідності дозволяється працівникові з кваліфікаційною групою не нижче IV увійти за огороження, але за умови,

що струмоведучі частини недоступні, тобто нижні фланці ізоляторів знаходяться від сталі на відстані більше 2 м, а необгороджені струмоведучі частини - на відстані більше 2,75 м при напрузі 35 кВ і 3,5 м при напрузі 110 кВ.

При менших відстанях входити за огороження можна тільки в присутності другої особи, що має кваліфікаційну групу не нижче III, і за умови, що струмоведучі частини знаходяться на відстані зазначеному в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі відстані від місця проведення робіт до струмоведучих частин у залежності від їх напруги

Номінальна електроустановки, кВ	напруга	Допустима відстань, м
до 15		0,7
від 15 до 35		1,0
від 35 до 110		1,5
154		2
220		2,5
330		3,5
400 і 500		4,5
750		6,4

Вимкнення і зміни в електричних схемах РЕМ здійснюються тільки за розпорядженням або з відома чергового персоналу, у керуванні або

підпорядкуванні якого знаходиться устаткування. При пожежах, нещасних випадках або при стихійних лихах негайно потрібно вимикати електроустаткування без узгодження, з послідуочим записом у оперативному журналі.

Розпорядження вважається виконаним після того, як черговий повідомить особисто або телефоном черговому диспетчерові енергосистеми мереженого району, черговому інженерові, тобто особі, що дала розпорядження. Керуватися показами приладів та повідомленнями осіб не оперативного персоналу про виконання розпорядження не можна.

Особа, що віддає розпорядження про переключення, обов'язково перевіряє послідовність операцій за оперативною схемою. Черговий, який отримав розпорядження, зобов'язаний повторити його і записати в оперативний журнал.

За оперативною схемою або макетові цей черговий намічає порядок операції. Якщо переключення виконують дві особи, то перша особа є старшою, роз'ясняє другій (виконавцю) завдання і послідовність його виконання.

В електроустановках напругою вище 1000 В, не обладнаних повністю блокованими від неправильних операцій роз'єднувачів, складні переключення проводяться за бланками. В бланку переключень виконується запис усіх операцій про увімкнення і вимкнення електрообладнання точно у тій послідовності, у якій ці операції повинні виконуватись.

Прості переключення на одному електричному приєднанні і переключення в електроустановках повністю обладнаних блокуванням роз'єднувачів від неправильної операції, можуть виконуватися без бланків.

Бланки переключень заповнює і підписує черговий який є безпосереднім виконавцем. Старший черговий контролюючий виконання операцій, перевіряє бланк і також його підписує. Старший черговий

зачитує зміст операції виконавець повторює прочитане і приступає до виконання. Старший контролює дії виконавця і відразу відзначає в бланку виконання операції. При сумніві в правильності операцій робота припиняється до в'яснення правильного порядку переключень. Якщо черговий робить переключення одноосібно, то він зачитує послідовність операцій вказаних у бланку телефоном старшому черговому який віддав розпорядження. Цей черговий є контролюючою особою.

Дозвіл на переключення виконавець зобов'язаний одержати телефоном безпосередньо перед їх виконанням. Приєднання вмикають або вимикають з допомогою вимикачів.

Якщо роз'єднувач має ручний привід, то операції з ним виконують в діелектричних рукавицях з ізолюваною основою. Вимикати і вмикати потрібно швидко, рішуче і до упора. Увімкнення і вимкнення роз'єднувачів виконується, як правило без навантаження. Роз'єднувачами допускається розмикати струми замикання на землю і зарядні струми повітряних і кабельних ліній не вище наведених в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Залежність струму замикання на землю і зарядного струму від напруги

Напруга, kV	Струм замикання на землю, A	Зарядний струм на фазу, A
3 – 6	7,5	2,5
10 – 20	3,0	1,0
35	1,5	0,5

Дозволяється вимикати навантажувальний струм лінії до $I \leq 15 A$ при напрузі $U \leq 10 kV$.

Роз'єднувачі необхідно вмикати ривком. Якщо при цьому виникає дуга, то ножі необхідно довести до кінця. У протилежному випадку зворотний хід ножа викличе виникнення дуги й нещасний випадок. Вимикати роз'єднувачі треба, навпаки, повільно, особливо в початковий момент. Якщо з'явиться дуга при відході ножів від губок, то роз'єднувач необхідно увімкнути назад.

Роз'єднувачі відключають (включають) у діелектричних рукавицях. Роз'єднувачі з пофазним керуванням і з вертикальним розташуванням – у діелектричних рукавицях, з використанням ізолюючих штанг і стоячи на ізолюючій підставці. Старшим може бути черговий, що має не меншу ніж IV кваліфікаційну групу. Прості перемикання на одному електричному приєднанні дозволяється виконувати оперативному персоналу, що має не нижче ніж IV кваліфікаційну групу, одноосібно.

Перевіряти відсутність напруги, накладати й знімати переносні заземлення дозволяється не менш ніж двом виконавцям.

В установках напругою до 1000 В апаратуру перемикає один працівник, що має III кваліфікаційну групу, якщо він черговий, IV кваліфікаційну групу, якщо він не є черговим.

Персонал, що виконує перемикання, повинен твердо знати, що у випадку зникнення напруги воно може бути подане знову без попередження як в умовах нормальної експлуатації, так і при аваріях.

4.3 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

При дослідженні систем живлення було виявлено що кабель, прокладений в землі чи в трубах відкрито, може при пошкодженні стати причиною пожежі.

Пожежа може виникнути внаслідок загоряння гарячих матеріалів, що знаходяться в кабельній споруді, при електричному розряді кабелю чи

в момент випробувань, чи при ремонтних роботах із – за недотримання заходів пожежної безпеки [8,9].

В електричних мережах необхідно виконувати наступні вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок:

1) допускається гасіння пожежі водяними потоками на невимкнених електроустановках напругою до 10 кВ, відкритих тільки для огляду електрика. При цьому опору заземляють, а електрик – працює в діелектричних ботах та рукавицях. Не допускається гасіння пожеж ручними засобами ;

2) забороняється гасіння пожежі усіма видами пін з допомогою ручних засобів в електроустановках під напругою, так як піна і розчини піноутворювачів мають велику електропровідність. Тільки в окремих випадках при спеціальному закріпленні піногенераторів і надійному їх заземленні, а також заземленні насосів пожежних машин, дозволяється гасити пожежу повітряно – механічною піною в електроустановках напругою до 10 кВ, які знаходяться під напругою;

3) при пожежі трансформатор вимикається з обох сторін, після чого одразу ж приступають до його гасіння будь – якими засобами (повітряно – механічною піною, розпиленою водою, вогнегасниками). При гасінні пожежі в трансформаторах, які встановлені в приміщеннях , необхідно прийняти заходи щодо попередження розповсюдження пожежі через вентиляційні та інші канали. Вентиляція в приміщенні в цей період може умикатись тільки з вказівки пожежного підрозділу;

4) при загорянні кабелів необхідно при наявності стаціонарної системи пожежегасіння (повітряно – механічною піною, розпиленою водою) включити її в роботу. При гасінні горючих кабелів напругою вище 1000 В у кабельному тунелі, пожежник який працює з пожежним стволом, повинен направляти потоки води через дверний люк, не заходячи при

цьому в відсік з горючими кабелями. Одночасно з гасінням пожежі кабелів потрібно прийняти заходи з швидкого зняття з них напруги;

5) щити управління станцій чи підстанцій напругою до 0,4 кВ являються найбільш важливою частиною електроустановок, тому найбільшу увагу при гасінні пожежі приділяється збереженню на них встановленої апаратури;

б) при загорянні кабелів, проводів і апаратів на панелях щитів управління оперативний персонал повинен зняти напругу з панелей, не допускаючи переходу вогню на сусідні панелі. В цьому випадку застосовують вуглекислотні вогнегасники чи брометилові, а також порошкові вогнегасники.

В розподільчих пунктах (РП) пожежі вкрай рідкісні із – за відсутності горючих матеріалів. Вибух та загоряння масла в бакових масляних вимикачах, встановлених в окремих камерах, не спричинять пошкоджень обладнання всього РП.

В трансформаторних підстанціях (ТП), де встановлені маслонаповнені трансформатори, при витіканні масла і виникненні внаслідок цього короткого замикання всередині трансформатора може виникнути пожежа.

При виявленні пожежі в РП чи ТП чергова бригада в першу чергу проводить всебічне вимкнення горючого обладнання від мережі та приступає до гасіння пожежі, застосовуючи порошковий вогнегасник чи пісок. В випадку необхідності чергова бригада викликає місцеву пожежну команду.

Висновки до розділу 4

1. Розглянуто комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів на підприємстві.

2. Зроблено опис заходів безпеки при обслуговуванні електроустановок на підприємстві.

3. Розглянуто вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок на підприємстві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На базі аналізу кінетики біологічних процесів фотосинтезу дано обґрунтування оптичних електротехнологій змінного опромінення рослин.

2. За величиною фотосинтезної активності випромінювання зроблено оцінку ефективності джерел світла для світлокультури рослин.

3. Зроблено аналіз систем електроприводу для рухомих опромінюючих установок змінного опромінення.

4. В основу будови установки змінного опромінення покладено коловий рух опромінювача навколо вертикальної осі, та навколо вертикальної і горизонтальної осей.

5. Для обертання опромінювача у горизонтальній площині взято асинхронний мотор-редуктор 5IK60GN з передаточним числом редуктора 1:200 та номінальною швидкістю обертання двигуна 1500 об/хв. Для керування швидкості обертання мотор-редуктора використано однофазний частотний перетворювач потужністю 0,18 кВт, що дало змогу регулювати швидкість валу редуктора від 2 до 7,5 об/хв.

6. Для переміщення опромінювач у вертикальній площині використано кроковий двигун nema 23 (23HS2430), в якого струм фази - 3.0 А, утримуючий момент - 280 Н·см та драйвер DM556.

7. Запропонована математична модель рухомої опромінювальної установки яка дозволяє проводити розрахунок заданої траєкторії руху опромінювача, його швидкість та прискорення.

8. Систему керування роботою опромінюючої установки виконано на базі мікроконтролера KM1816BE51. Задача керування роботою ОУ зводено до видачі МК двох цифрових кодів q_1 , q_2 , які задають кути повороту валів двигунів поворотного пристрою ОУ.

9. Для керування роботою асинхронного двигуна з КЗ ротором вибрано частотне керування. Приведено принципову схему перетворювача частоти.

10. Приведено блок-схеми алгоритму роботи системи керування опромінювальною установкою в ручному та автоматичному режимах.

11. Проведено світлотехнічний розрахунок опромінюючої установки змінного опромінення з обертальним рухом опромінювача та круглосиметричним світловим розподілом.

12. При розрахунку світлового поля для декількох ОУ змінного опромінення використано принцип суперпозиції полів від різних опромінювальних елементів та метод трансляції матриці опромінення $\{\epsilon\}$ елементарних ділянок.

13. Представлено результати світлотехнічного розрахунку для 10 ОУ з обертальним рухом опромінювача та різним геометричним розташуванням.

14. Розглянуто комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів на підприємстві.

15. Зроблено опис заходів безпеки при обслуговуванні електроустановок на підприємстві.

16. Розглянуто вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок на підприємстві.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Савченко П.І., Лавріненко О.Ю. Основи електроприводу: підручник / Савченко П.І., Лавріненко О.Ю., Синявський О.Ю., Войтюк В.В., Савченко І.М., Голодний І.М. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017 – 524 с.
2. Енергетичний фактор забезпечення конкурентоспроможності продукції : монографія / В. І. Перебийніс, О. В. Федірець. – Полтава : ПУЕТ, 2012. – 190 с.
3. Фотосинтез. Методичний посібник з виконання лабораторних робіт та самостійної роботи / Ю. Г. Приседський. – Вінниця: ДонНУ, 2016. – 68 с.
4. Galiullin, R.R. & Aipov, R.S. Yarullin, R.B.. Efficiency of plant irradiation in protected ground structures. Vestnik of the bashkir state agrarian university., 2019. No. 54. Pp. 100-105.
5. J. D. Wacker, M. J. Verheul, I. Righini, H. Maessen, and C. Stanghellini, “Optimisation of supplemental light systems in Norwegian tomato greenhouses-A simulation study,” Biosyst. Eng. **215**, 129–142 (2022).
6. W. J. P. Kuijpers, D. Katzin, S. van Mourik, D. J. Antunes, S. Hemming, and M. J. G. van de Molengraft, “Lighting systems and strategies compared in an optimally controlled greenhouse,” Biosyst. Eng. **202**, 195–216 (2021).
7. Андрійчук В.А., Великий В.І. Математична модель рухомої опромінювальної установки// Вісник Житомирського інженерно-технологічного ін-ту: Технічні науки. - 2001. - Вип.19. - С.102-107.
8. Греля В. В. Електропривід установок змінного опромінення з обертальним рухом опромінювача // VII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних

технологій» (Збірник тез конференції. 6-7 грудня 2023 року, Тернопіль, С. 236)

9. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підруч. / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів: Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с. — ISBN 966-8013-11-5

10. ДНАОП 1.1.10 – 1.07. – 01. Правила експлуатації електрозахисних засобів (укр). Введ. 05.06.2001. – Харків: Форт, 2003. – 119 с.