

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра електропривода

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Євдахи Дениса Вадимовича

(ПІБ)

академічної групи 141-18ск-3

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Автоматизований електропривод насосу для універсальної теплиці

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	Бешта О.С.			
розділів:				
Технологічна частина	Бешта О.С.			
Охорона праці	Столбченко О. В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Н.В.			
Рецензент	Іванов О.Б.			
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро

2021

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

електропривода

(повна назва)

(підпис)

Казачковський М.М.

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу**

ступеня бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Євдахе Д.В. академічної групи 141-18ск-3

(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та

електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Автоматизований електропривод насосу для універсальної теплиці

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.04.2021 № 201-С

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина	Вибір насосу теплиці відповідно до заданих вимог	26.04.21- 17.05.21
2. Автоматизований електропривод	Вибір та обслуговування ПЧ та двигуна	
3. Охорона праці	Дослідження шкідливих та небезпечних факторів	28.05.21
4. Техніко-економічне обґрунтування	Розрахунок капітальних витрат: амортизації, заробітної плати, тощо	12.06.21

Завдання видано

(підпис керівника)

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Євдахе Д.В.

(прізвище, ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. Характеристика об'єкта автоматизації	7
2. Вибір насоса	10
3. Вибір електродвигуна.....	12
4. Вибір перетворювача частоти	14
5. Вибір датчика вологості	19
6. Тепловий розрахунок електродвигуна.....	20
7. Охорона праці	21
8. Техніко-економічні показники електропривода	30
ВИСНОВКИ	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	37

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 35 с., 13 рис., 4 табл., 7 джерел.

Об'єкт розробки: автоматизований електропривод насосу для універсальної теплиці.

Мета роботи: розробка автоматизованого електропривода насосу для універсальної теплиці.

Розроблені структурна та функціональна схеми електропривода.

Вибрані елементи силового кола: насосний агрегат (насос K8/18 з електродвигуном АИР 80А2), перетворювач частоти (Danfoss VLT Micro Drive FC 51).

Вибраний датчик вологості ґрунту (MTR-731A).

Розроблена електрична схема автоматизованого електропривода насоса теплиці.

Проведений тепловий розрахунок електродвигуна.

Проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори при роботі з електрообладнанням теплиці та розрахований контур заземлення.

Проаналізовані основні причини пожеж в теплицях та наведені заходи пожежної безпеки.

Обґрунтовано економічну доцільність застосування автоматизованого електроприводу насосу теплиці.

ТЕПЛИЦЯ, НАСОС, АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ВИБІР ДВИГУНА, ДАТЧИК ВОЛОГОСТІ І ГРУНТУ, ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ НАПРУГОЮ ДО 1000 В, ЗАЗЕМЛЮЮЧИЙ ПРИСТРІЙ.

ABSTRACT

Explanatory note 35 p. 13 figs., 4 tablets, 7 sources.

Object of development: automated electric pump drive for universal greenhouse.

Purpose: development of an automated electric pump drive for a universal greenhouse.

Structural and functional schemes of the electric drive are developed.

Selected elements of the power circuit: pump unit (pump K8 / 18 with AIR 80A2 electric motor), frequency converter (Danfoss VLT Micro Drive FC 51).

The selected soil moisture sensor (MTR-731A).

The electric scheme of the automated electric drive of the pump of the greenhouse is developed.

The thermal calculation of the electric motor is carried out.

Dangerous and harmful factors when working with greenhouse electrical equipment are analyzed and the grounding circuit is calculated.

The main causes of fires in greenhouses are analyzed and fire safety measures are given.

The economic expediency of using the automated electric drive of the greenhouse pump is substantiated.

GREENHOUSE, PUMP, ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE, FREQUENCY CONVERTER, CHOICE OF ENGINE, SOIL MOISTURE SENSOR, ELECTRICAL INSTALLATIONS WITH VOLTAGE UP TO 1000 V, EARTHING DEVICE.

ВСТУП

Тепличне господарство України забезпечує внутрішній ринок плодоовочевою продукцією на 87%.

В середині 1990-х, коли галузь охопила приватизаційна лихоманка, цей рівень опускався до 10%, потім рік у рік зростав, поступово витісняючи імпорт, і нарешті сягнув сьогоденного рівня.

Проте із 5 900 га тепличних господарств лише 400 га обробляється промисловим способом, лише 280 га площ мають скляне покриття, тоді як в Голландії таких плантацій понад 6 тис га [1].

Українські тепличники наразі зосередилися на трьох групах продукції.

Овочі становлять 79% від загального обсягу виробленого, квіти — 19%, гриби — 2%.

Із 562,67 тис тон овочів, зібраних у сезоні 2018 р., огірки становлять 269,9 тис тон, помідори — 265,15 тис тон. Причому частка промислових підприємств у обсязі вироблених огірків становить всього 12%, а помідорів – лише 21% [1].

До 2014 року основна маса тепличної продукції спрямовувалась до РФ та Криму.

Наразі, щоб експортувати продукцію на ринки ЄС та Близького Сходу, потрібен абсолютно новий рівень якості продукції, який відповідає сертифікатам ISO, Global GAP та іншим, зв'язки із закордонними постачальниками, відповідна логістична структура, збудована на засадах кооперації чи кластера і т.і.

Отже, важливим і актуальним питанням є водопостачання теплиць – полив, без якого неможливо виростити ні овочів ні квітів ні ягід.

Агрономи рекомендують здійснювати полив один раз на добу у вечірні години, забезпечивши зволоження ґрунту на глибину 25-35 мм.

Метою курсової роботи є вибір елементів автоматизованого електроприводу насосу для універсальної теплиці площею 0,4 га.

1. Характеристика об'єкта автоматизації

Теплиця призначена для вирощування овочів в несезонний період при зимовій середній температурі - 20 °С методом крапельного поливу.

Температура поливної води 22-25 °С.

Теплиці за надійністю подачі води відносяться до другої категорії, тобто забезпеченість мінімальних середньомісячних витрат води складає 90 % [2].

Полив здійснюється за заданою програмою насосом з електроприводом.

Для забезпечення необхідного зволоження ґрунту на глибину 25-35 мм при площі теплиці 400 м² середньодобове споживання води

$$Q_{\text{ср.д.}} = 400 \times 0,035 = 14 \text{ м}^3.$$

Для вирощування овочів рекомендується одне включення поливу на добу у вечірні години на 2 години.

Циклограма роботи електропривода наведена на рисунку 1.1.

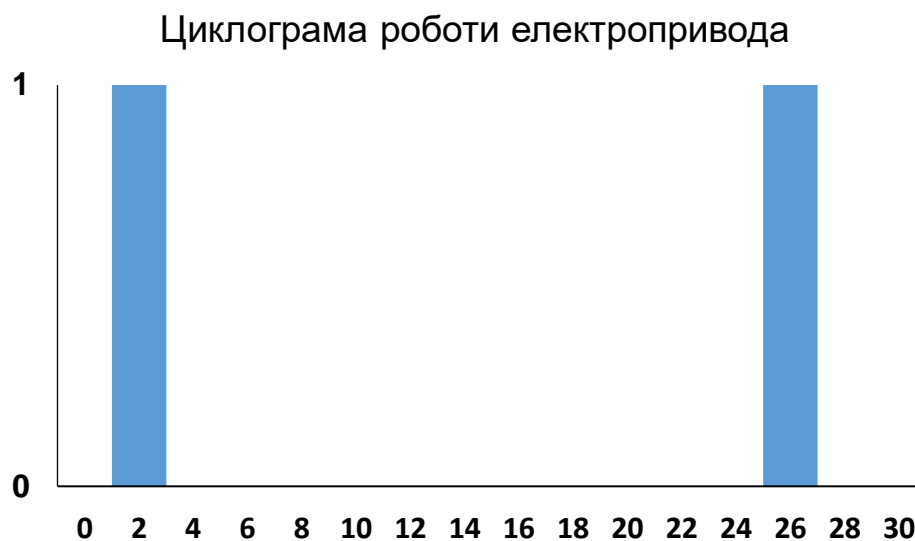


Рисунок 1.1. Циклограма роботи електропривода ($t_1=2$ год, $T_{\text{ц}} = 24$ год.).

Тоді максимальне годинне споживання води

$$Q_{\text{макс.год.}} = 14/2 = 7 \text{ (м}^3/\text{год.)}.$$

Система водопостачання теплиці складається з насоса, електропривода насоса і системи керування електроприводом з датчиком вологості.

Структурна схема автоматизованого електропривода насоса теплиці наведена на рисунку 1.

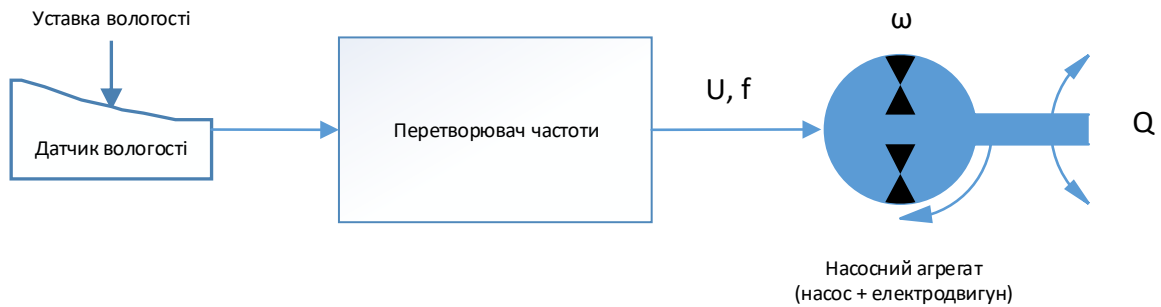


Рисунок 1.2. Структурна схема автоматизованого електропривода насоса теплиці.

Сигнал від датчика вологості поступає на вхід перетворювача частоти, який за рахунок зміни амплітуди і частоти вихідної напруги (U, f) регулює частоту обертання (ω) насосного агрегату (насос + привідний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором), що приводить до зміни постачання води (Q).

Необхідну вологість ґрунту задають уставкою датчика вологості.

Рівняння, що описують електромагнітні процеси асинхронного двигуна, можна перетворити таким чином, щоб залишилося тільки дві змінні.

У цьому випадку з'явиться шість різних способів представлення електромагнітної системи.

Вектори змінних статора та ротора можна представити в експоненціальному (полярна система координат) або алгебраїчному вигляді.

Отже, керувати асинхронним двигуном можна такими способами:

- зміною модуля вектора (скалярне керування);
- зміною модуля та аргументу вектора (полярне керування);
- зміною полярності вектора на координатні осі (векторне керування).

Скалярне керування асинхронним електроприводом забезпечує необхідні статичні характеристики і застосовується для приводів, що не вимагають точної підтримки моменту в перехідних режимах. На вході таких систем вмикаються з основному задавачі інтенсивності, що обмежують прискорення приводу на заданому рівні.

Найпростішим законом управління (при наявності інвертора з ШІМ, що реалізований практично у всіх перетворювачах, пропонуєваних на ринку) є:

$$\frac{U}{f} = \text{const} \text{ або } \frac{U}{f^2} = \text{const}.$$

Зручність цього способу управління полягає з тому, що електропривод може працювати без зворотних зв'язків і мати природну жорсткість механічної характеристики.

Даний спосіб регулювання широко використовується в електроприводах, які не потребують великої швидкодії, та при відсутності різких і частих коливань навантаження.

Номінальним режимом роботи електричної машини називають режим роботи, для якого машина призначається підприємством – виготувачем і який наведено у її паспорті. Сучасними стандартами передбачено вісім номінальних режимів роботи електродвигуна з умовним позначенням від S1 до S8.

Найближчим до номінального режимом роботи електропривода насоса теплиці є повторно–короткочасний номінальний режим (S3) – це послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періодів роботи з постійним навантаженням і вимкненого нерухомого стану.

Функціональна схема автоматизованого електропривода насоса теплиці наведена на рисунку 1.3.

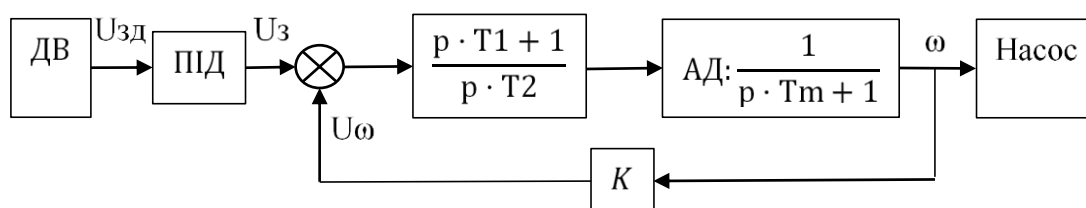


Рисунок 1.3. Функціональна схема автоматизованого електропривода.

2. Вибір насоса

За максимальним годинним споживанням води 7 м³/год обираємо насос К8/18 [3].

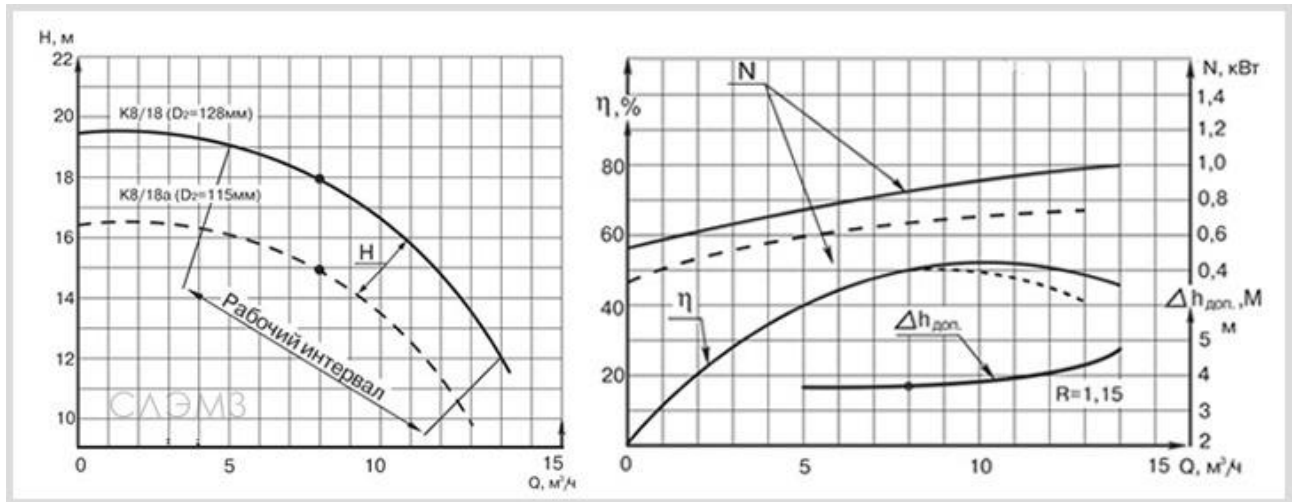


Рисунок 2.1 Графік робочих полів насоса К8/18.

Насос К8/18 відноситься до типу відцентрових консольних насосів.

Його призначення – перекачування чистих вод в температурних межах від 0 до 85 °С.

Характеристики насоса К8/18:

- подача (продуктивність) – 8,0 м³/год (0,0022 м³/с),
- напір – 18 м,
- потужність – 1,5 кВт,
- частота обертання – 3000 об/хв [3].

Робоче колесо насоса має зовнішній діаметр 127 мм.

Патрубки насоса К8/18:

- напірний – 32 мм
- всмоктуючий – 40 мм.

Маса насоса – 31 кг [3].

Потужність, споживана насосом

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot k_z}{102 \cdot \eta_n},$$

де $Q = 0,0022 \text{ м}^3/\text{с}$ – подача насосу,

$H = 18 \text{ м}$ – напір,

ρ – густина рідини, що перекачується, $\text{кг}/\text{м}^3$ (для води $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$),

k_3 – коефіцієнт запасу (для двигунів потужністю до 50 кВт $k_3 = 1,2$),

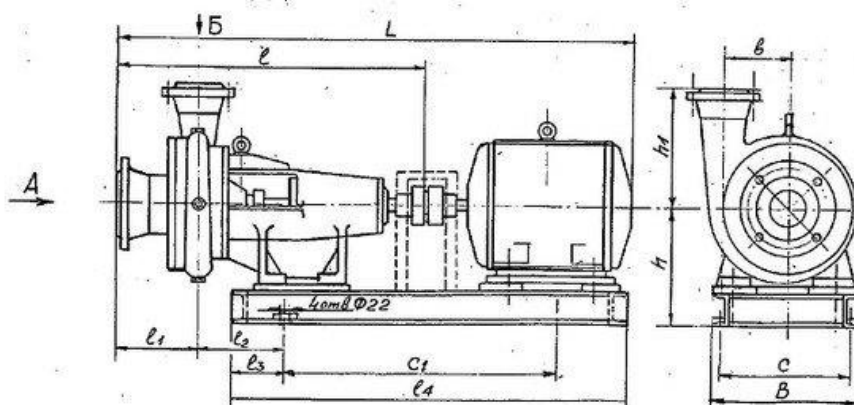
$\eta_n = 0,53$ – ККД насосу.

Тоді потужність, споживана насосом

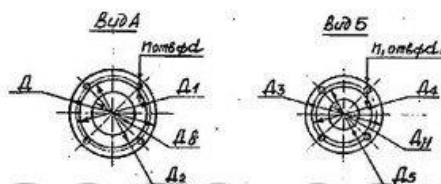
$$P = \frac{2,22 \cdot 18 \cdot 1000 \cdot 1,2}{102 \cdot 0,53} = 0,9 \text{ кВт.}$$

Насос К8/18 виготовляється в чавунному корпусі з робочим колесом також з чавуну.

Розміри насосної установки, а також розміри приєднувальних патрубків насоса наведені на рисунку 2.2.



Типорозмер агрегата	Марка ел.двигателя	L	l	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	C	C ₁	B	b	h	h ₁	d ₂
K8/18	АИР80А2	755	435	95	140	40	500	160	315	200	75	145	125	14



Типорозмер агрегата	Всасуваючий патрубок						Напорний патрубок						Маса насоса, кг	Маса агрегата, кг
	D _ф	D	D ₁	D ₂	d	n	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	d ₁	n ₁		
K8/18	40	130	100	75	14	4	32	120	90	70	14	4	31	53

Рисунок 2.2. Розміри насосної установки К8/18 і приєднувальних патрубків [3].

3. Вибір електродвигуна

Виробник насоса К8/18 рекомендує комплектувати його електродвигунами серій АИР, 4АМ, 5АМ потужністю 1,5 кВт 3000 об/хв [3].

Отже обираємо трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором АИР 80А2 з такими параметрами:

- потужність $P_{дв} = 1,5$ кВт,
- номінальна швидкість обертання $n_{ном} = 2830$ об/хв,
- номінальне ковзання $S_{ном} = 5\%$,
- ККД $\eta_d = 0,781$,
- $\cos \varphi = 0,84$,
- номінальний струм $I_{ном} = 3,6$ А (при $U_{ном} = 380$ В і включенні обмоток у схему «зірка»),
- кратність пускового струму $I_{пуск}/I_{ном} = 7,0$,
- номінальний момент $M_{ном} = 4,9$ Н·м,
- момент інерції $J_{дв} = 11$ кг·м²,
- кратність максимального моменту $k_m = M_{макс}/M_{ном} = 2,3$,
- кратність пускового моменту $k_n = M_{пуск}/M_{ном} = 2,2$,
- маса 15,5 кг,
- кліматичне виконання У2.
- клас ізоляції «F».
- ступінь захисту IP55 [4].

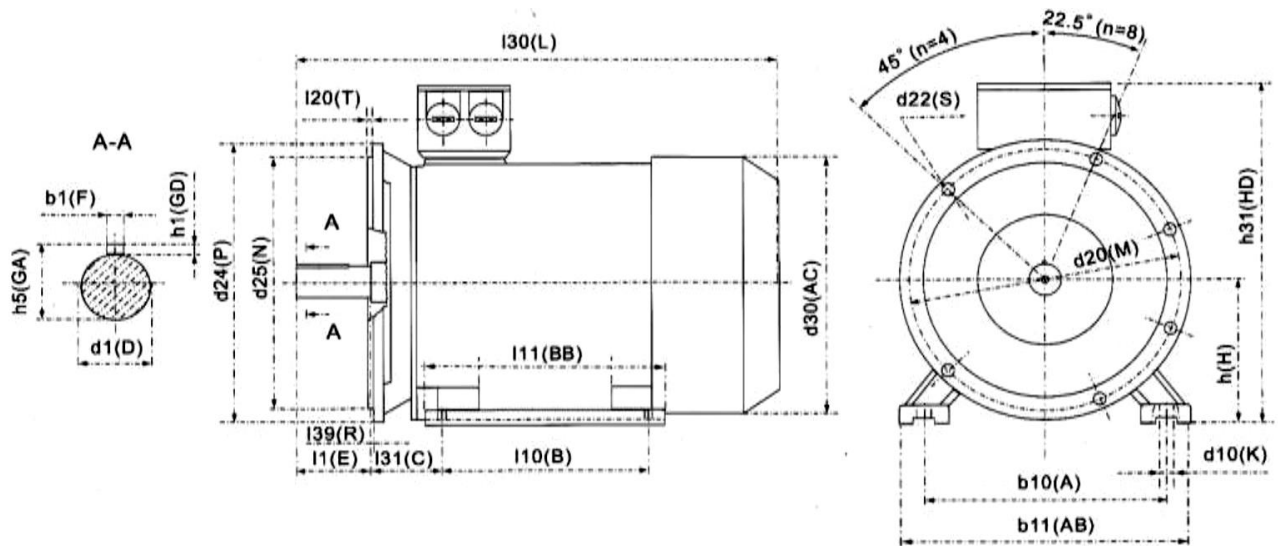


Рисунок 3.1. Габаритні, установчі та приєднувальні розміри двигуна АІР 80А2 (L=320 мм, HD = 230 мм, AC = 176 мм, P = 200 мм, A = 125 мм, AB = 160 мм, B = 100 мм, BB = 130 мм, C = 50 мм, D = 22 мм, E = 50 мм, F = 6 мм, GA = 24,5 мм, GD = 6 мм, H = 80 мм, K = 10 мм, M = 165 мм, N = 130 мм, R = 0 мм, T = 3,5 мм, S = 12 мм, n = 4) [4].

Схеми включення двигуна наведені на рисунку 3.2.

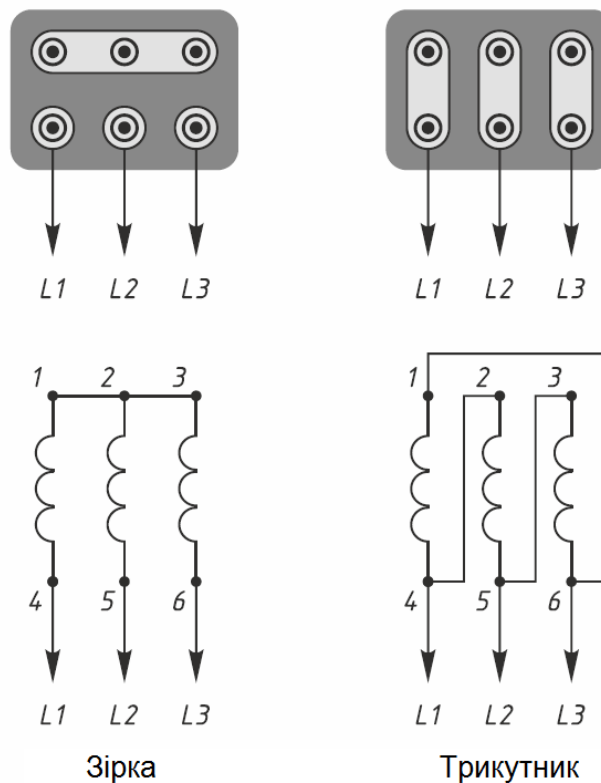


Рисунок 3.2. Схеми включення електродвигуна АІР 80А2

Для побудови механічної характеристики двигуна $M(s)$ застосуємо формулу Клосса:

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}},$$

де $M_{\max} = M_{\text{ном}} \cdot k_m = 4,9 \cdot 2,3 = 11,27 \text{ Н} \cdot \text{м}$,

$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} (k_m + \sqrt{k_m^2 - 1}) = 0,05 (2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}) = 0,219$.

Тоді

$$M = \frac{2 \times 11,27}{\frac{s}{0,219} + \frac{0,219}{s}} = \frac{22,54}{\frac{s}{0,219} + \frac{0,219}{s}}.$$

Побудована характеристика наведена на рисунку 3.3.

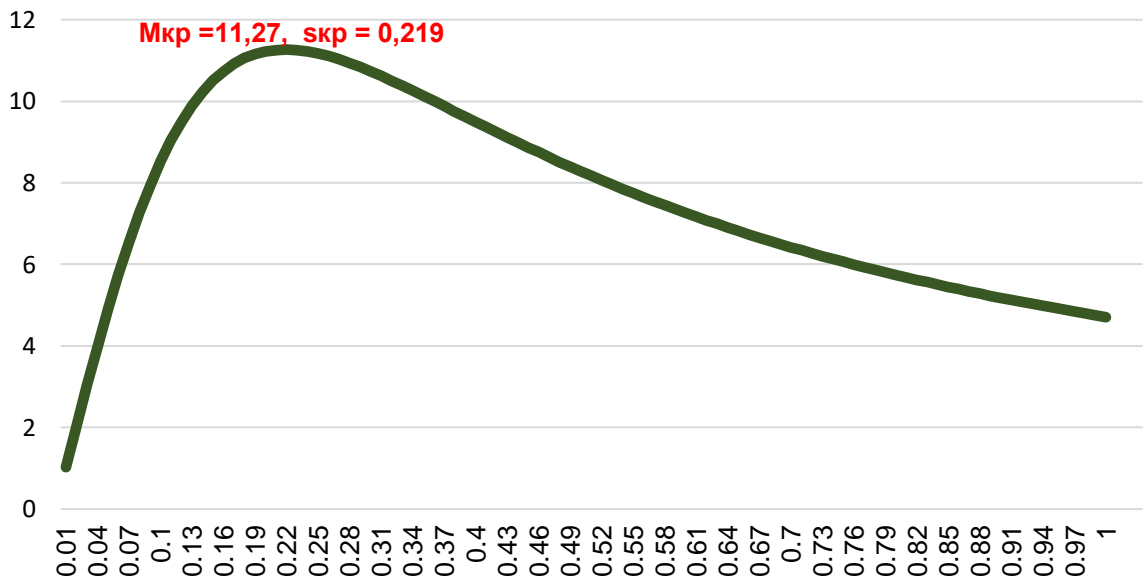


Рисунок 3.3. Природна механічна характеристики двигуна АІР 80А2.

Перехідні процеси у приводі будуються за допомогою спеціальних програм (наприклад, «Гамма»).

Приблизний вигляд перехідного процесу, що відповідає наблизеним параметрам настройки регулятора, наведений на рисунку 3.4.

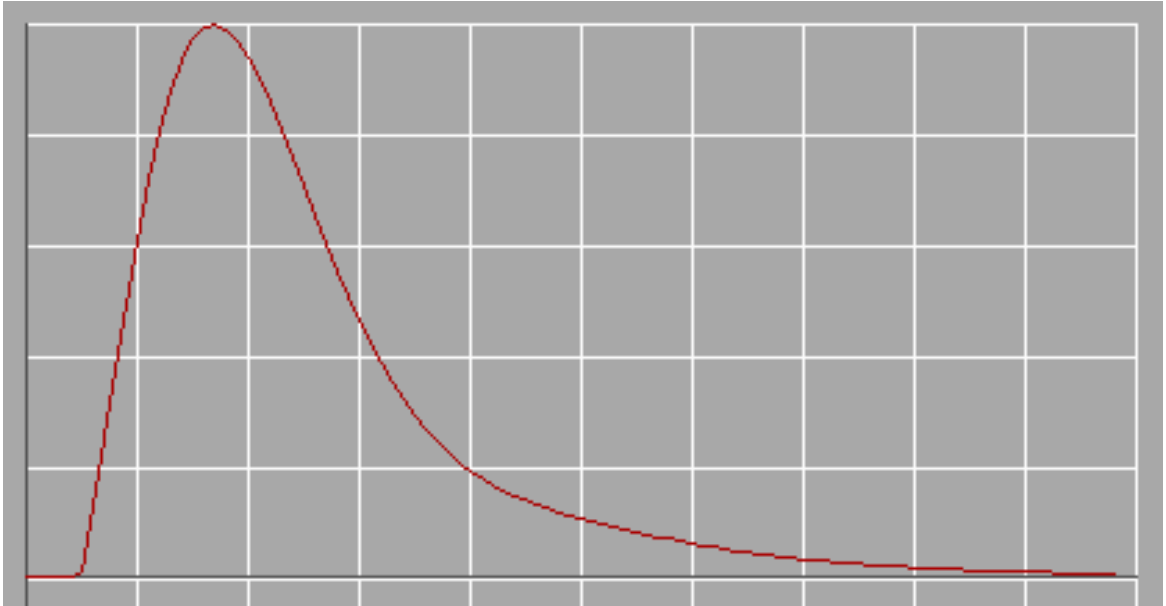


Рисунок 3.4 Вигляд динамічного відхилення регулюємої величини від заданого значення і тривалості перехідного процесу.

4. Вибір перетворювача частоти

Основні переваги частотнорегульованого електроприводу:

- плавність регулювання і висока жорсткість механічних характеристик, що дозволяє регулювати швидкість в широкому діапазоні (20...30);
- економічність регулювання, викликана тим, що двигун працює з малими величинами абсолютного ковзання і втрати в двигуні є мінімальними.

Для управління електродвигуном обираємо перетворювач частоти з широтно-імпульсним управлінням (з широтно-імпульсною модуляцією ШІМ).

Перетворювач з ШІМ забезпечує плавний пуск асинхронного двигуна, зниження навантаження при пуску в чотири-п'ять разів і значну (до 30-40 %) економію електроенергії.

Частотний перетворювач з ШІМ включає в себе інвертор з подвоєним перетворенням напруги.

Спочатку мережева напруга випрямляється вхідним діодним мостом і фільтрується (згладжується) за допомогою конденсаторів.

Отримана постійна напруга за допомогою вихідних ключів (тиристорних або транзисторних), що управляються генератором змінної частоти, перетворюється у серії прямокутних імпульсів, ширина яких змінюється в залежності від того, якої величини напругу необхідно мати на обмотках електродвигуна, а частота – від заданої швидкості обертання вала двигуна - рисунок 4.1.

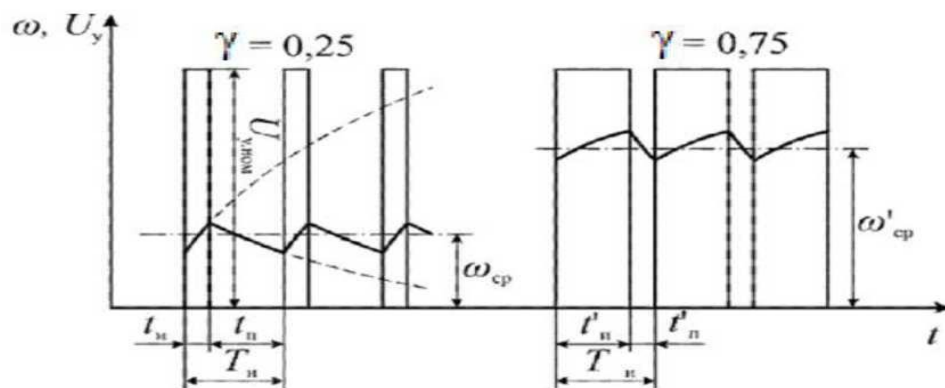


Рисунок 4.1 Принцип роботи широтно-імпульсного перетворювача.

В обмотках статора асинхронного двигуна ці імпульси згладжуються і створюють напругу змінної частоти, подібну до синусоїди.

Наразі існує широкий вибір комплектних перетворювачів частоти для живлення електроприводів.

Оскільки пусковий струм електродвигуна АИР 80А2 у 7 разів більший за номінальний, потужність і номінальний струм перетворювача мають бути мінімум у 1,5 рази більші за потужність двигуна.

Обираємо трифазний перетворювач частоти Danfoss VLT Micro Drive FC 51 3,0 кВт / 3 фаз. (132F0024) [5].



Рисунок 4.2. Зовнішній вигляд перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51.

Характеристики перетворювача:

- вхідна напруга – 3 фази по 380 В,
- номінальний струм – 7,2 А,
- номінальна потужність – 3,0 кВт,
- перевантажувальна здатність – 150 % від номінального струму,
- габаритні розміри – 239 x 90 x 194 мм
- вихідна напруга – 0-380 В,
- вихідна частота – 0-400 Гц,
- час розгону/гальмування – 0,05-3600 с [5].

Схема перетворювача частоти наведена на рисунку 4.2.

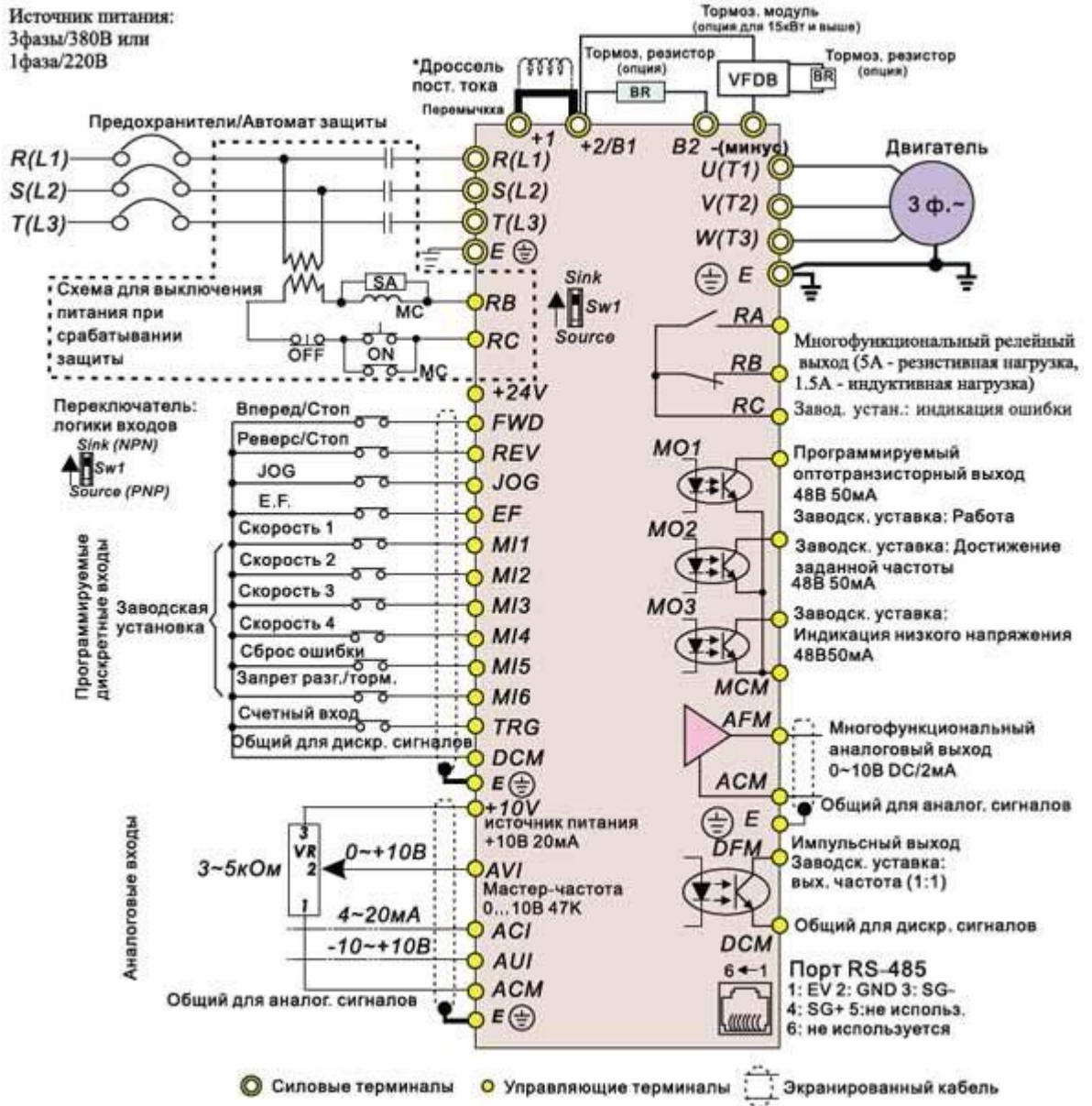


Рисунок 4.3. Схема перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51.

5. Вибір датчика вологості

Обираємо датчик вологості ґрунту MTR-731A у водонепроникному корпусі з нержавіючої сталі SUS304 з такими параметрами:

діапазон виміру вологості – 0 - 100 %

точність (при 25 °С) – $\pm 2\%$

стабільність – не гірше 1% за рік

температурна компенсація – $\pm 0,02\% / ^\circ\text{C}$

час відгуку – ~ 3 с

напруга та струм живлення – 12 ~ 40В DC, 120 мА

робоча температура – $-40+60$ °С

вага 190 г [7].

Тоді загальна електрична схема автоматизованого електропривода насоса теплиці буде мати вигляд, наведений на рисунку 4.3.

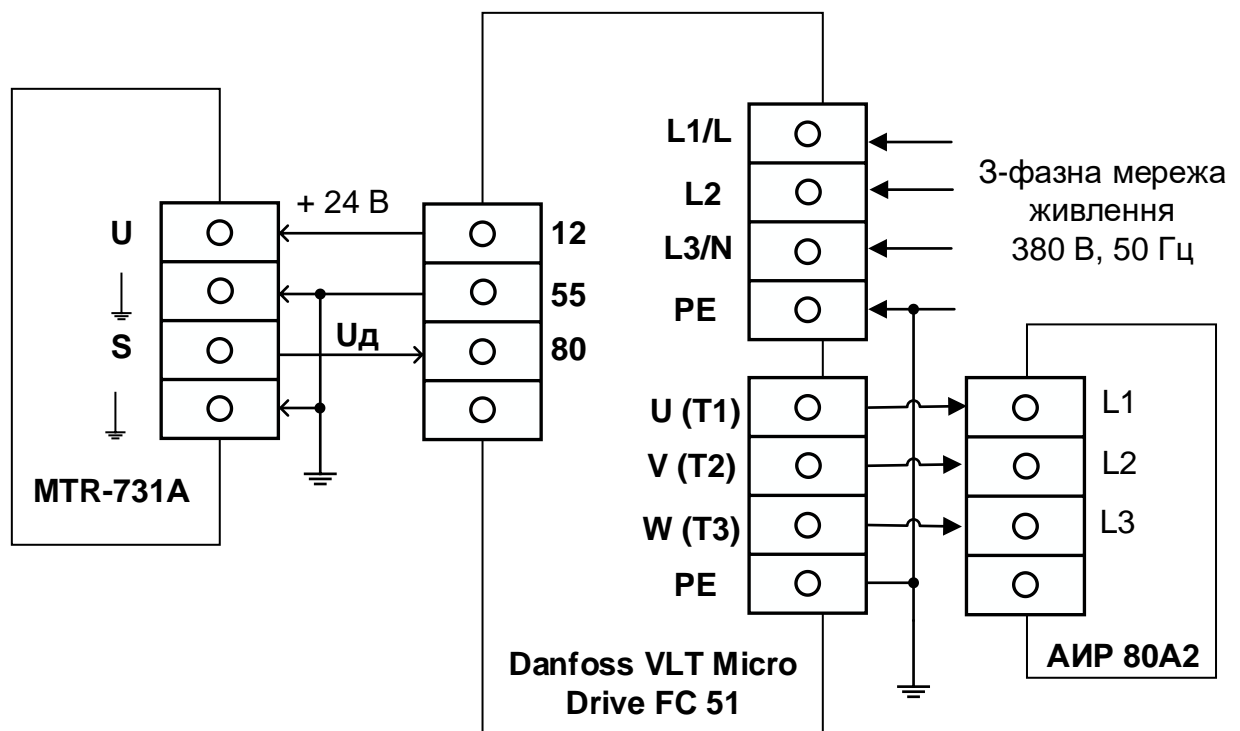


Рисунок 5.1. Загальна електрична схема автоматизованого електропривода насоса теплиці.

6. Тепловий розрахунок електродвигуна

Для теплового розрахунку електродвигуна застосуємо метод середніх втрат.

Номинальні втрати електродвигуна

$$\Delta P_{\text{ном}} = P \left(\frac{1}{\eta_{\text{ном}}} - 1 \right), \text{ де}$$

$$\eta_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} * U_{\text{н}} * I_{\text{н}} * \cos \varphi} = \frac{1500}{\sqrt{3} * 380 * 3,6 * 0,84} = 0,7536$$

$$\Delta P_{\text{ном}} = P \left(\frac{1}{\eta_{\text{ном}}} - 1 \right) = 1500 \left(\frac{1}{0,7536} - 1 \right) = 490,446$$

Середні втрати визначимо з урахуванням включення привода на протязі 2 годин роботи за 24 години добового циклу роботи:

$$\Delta P_{\text{сеп}} = \sqrt{\frac{\Delta P_1^2 * t_1 + \Delta P_2^2 * t_2}{t_1 + t_2}}, \text{ де}$$

$$t_1 = 2 \text{ год, } t_2 = 22 \text{ год,}$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_{\text{ном}} = 490,446; \quad \Delta P_2 = 0.$$

$$\Delta P_{\text{сеп}} = \sqrt{\frac{490,446^2 * 2 + 0 * 22}{2 + 22}} = 141,580.$$

Таким чином, умова $\Delta P_{\text{сеп}} = 141,580 < 490,446 = \Delta P_{\text{ном}}$ виконується, отже електродвигун вибраний правильно.

7. Охорона праці

Обслуговування електроустановок напругою до 1000 В здійснюється експлуатаційним персоналом, який має кваліфікаційну групу не нижче 3 і віком не молодше 18 років.

Об'єм робіт, що дозволяється виконувати при експлуатації електроустановок, повинен бути затверджений головним енергетиком господарства.

Експлуатаційному персоналу необхідно твердо знати, що на електроустановках завжди може бути подана напруга як в умовах експлуатації, так і в аварійних випадках. Тому при оглядах необхідно поводитись так, ніби електроустановка знаходиться під напругою, і всі дефекти виявляти шляхом огляду на відповідній віддалі і на слух.

При виявленні під час огляду з'єднань будь-якої струмопровідної частини електроустановки із землею забороняється до її вимикання наближатися до місця такого пошкодження на відстань менше 8...10 м, щоб не потрапити під крокову напругу.

Для попередження нещасних випадків з людьми, які випадково проходять біля місця аварії, його необхідно огородити і вивісити попереджуючі або забороняючі плакати і негайно прийняти заходи до вимкнення електроустановки.

В процесі експлуатації електроустановок систематично перевіряється технічний стан, схема з'єднань проводів, арматури і апаратури. Перевіряються надійність кріплення електроустановок, ізоляційних опор, якість з'єднання проводів, а також надійність приєднання до заземлюючих пристроїв.

Огляд внутрішніх електроустановок в теплицях проводиться не рідше одного разу на три місяці.

Всі несправності, виявлені при оглядах, усуваються при вимкненій напрузі. Під час огляду електроустановок забороняється торкатись до струмопровідних частин, усувати на них несправності.

Світильники в теплиці оглядають кожний раз при перевірці електроустановок. Освітлювальну арматуру і лампи загального освітлення очищають не рідше 4 рази на місяць.

При обслуговуванні електродвигунів, пускової і захисної апаратури експлуатаційному персоналу необхідно слідкувати, щоб біля кожного пускового пристрою були розміщені діелектричні килимки або їх обслуговування проводилось в діелектричних калошах. Заборонено виконання будь-яких робіт в колах живлення і заземлення працюючого електродвигуна.

Теплиці за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відносяться до особливо небезпечних приміщень, тому в них забороняється працювати на струмопровідних частинах, які знаходяться під напругою, і замінювати лампи світильників під напругою.

В теплиці електродвигуни, пускові пристрої і захисні апарати встановлено за межами приміщень, в яких вирощуються рослини. Вимикачі розміщено в сусідніх з вологими сухих приміщеннях, а кнопки керування пусковою апаратурою встановлено безпосередньо на робочих місцях.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом металеві частини електроустановок напругою 380/220В, які можуть потрапити під напругу внаслідок пошкодження ізоляції, заземлено або занулено.

Розрахуємо заземлюючий пристрій для заземлення електродвигуна напругою $U = 380$ В в трьохфазній мережі із ізольованою нейтраллю при наступних вихідних даних:

- ґрунт – суглинок з питомим електричним опором $\rho = 100$ Ом·м,
- в якості заземлювачів приймемо сталеві труби діаметром $d = 0,025$ м і довжиною $l = 2$ м, що розміщуються вертикально.

Визначимо опір одиночного вертикального заземлення по формулі:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right),$$

де $\rho_{розр} = 1,7 \cdot \rho = 1,7 \cdot 100 = 170$; 1,7 - коефіцієнт сезонності, що враховує можливість підвищення опору ґрунту за період 1 рік;

$t = 1,8$ м – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

$$R_B = \frac{170}{2 \cdot \pi \cdot 2} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,025} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,8 + 2}{4 \cdot 1,8 - 2} \right) = 72,554 \text{ Ом.}$$

Визначимо опір сталевий полоси, що з'єднує стержні заземлення:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{розр}'}{2 \cdot \pi \cdot l'} \cdot \ln \frac{l'}{d' \cdot t'}$$

де $l' = 50$ м – довжина полоси;

$t' = 0,8$ м – відстань від полоси до поверхні землі, м;

$d' = 0,05$ м – ширина полоси.

$\rho'_{розр} = \rho \cdot 5,9$ (при довжині полоски 50 м).

Для полоси коефіцієнт використання $k_{B2} = 0,39$.

Тоді:

$$R_{\Pi} = \frac{590}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \cdot \ln \frac{50}{0,05 \cdot 0,8} = 13,863 \text{ Ом.}$$

Визначимо орієнтовне число одиночних стержнів заземлювачів:

$$n = \frac{R_B}{L \cdot k_{B1}}$$

де $L = 4$ м – відстань між суміжними заземлювачами,

$k_{B1} = 0,66$ – коефіцієнт використання.

Тоді

$$n = \frac{72,554}{4 \cdot 0,66} = 27,48.$$

Прийmemo $n = 28$.

Визначимо загальний розрахунковий опір заземлюючого пристрою R з врахуванням з'єднувальної полоски:

$$R = \frac{R_B \cdot R_{\Pi}}{R_B \cdot k_{B1} + R_{\Pi} \cdot n \cdot k_{B2}} = \frac{72,554 \cdot 13,863}{72,554 \cdot 0,66 + 13,863 \cdot 28 \cdot 0,39} = 5,047 \text{ Ом.}$$

Розрахунок заземлюючого пристрою виконано вірно, так як $R < 10$ Ом.

Основним нормативним документом щодо пожежної безпеки на підприємствах агропромислового комплексу є «Правила пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України», які затверджені Наказом Міністерства аграрної політики України, Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 04.12.2006 р. № 730/770 і зареєстровані у Міністерстві юстиції України 05.04.2007 р. за № 313/13580. Документ має посилання ще на 41 нормативний документ (закони України, постанови Уряду, накази міністерств і відомств, стандарти і норми, положення, правила і переліки).

Згідно з цими правилами будівлі (приміщення) теплиць на технічному і біологічному обігріві віднесені до категорії Д (приміщення, у яких є горючі рідини в системах змащування, охолодження і гідроприводу обладнання при тиску не вище 0,2 мПа, кабельні електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів на робочих місцях).

Якщо ж теплиці обігріваються газом, то такі будівлі відносяться до категорії Г (будівля належить до категорії Г, коли одночасно виконані такі дві умови:

- а) будівля не належить до категорії А, Б або В;
- б) сумарна площа приміщення категорії А, Б і В перевищує 5% сумарної площі всіх приміщень. .

Основними причинами пожеж в теплицях є:

- недотримання вимог по улаштуванню і експлуатації основного і допоміжного обладнання;
- несправність електрообладнання, електропроводів (виникнення коротких замикань), освітлювальних приладів і порушення правил їх експлуатації;
- самозагорання промасленого спецодягу, сміття, загорання мастил та інших легкогорючих матеріалів при порушенню правил їх зберігання;
- порушення правил проведення зварювальних і вогневих робіт в місцях зберігання горючих матеріалів і речовин;
- поломка приладів автоматики;

- куріння і викидання недопалків і сірників;
- неправильне розміщення технічних засобів захисту від статичної електрики і атмосферних розрядів.

Основні організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки здійснює служба пожежної безпеки, що створюється на кожному підприємстві відповідно до Типового положення про службу пожежної безпеки, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 29.09.2003 р. №369 та зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 10.12.2003 р. за №1121/8442.

На кожному підприємстві АПК мають бути розроблені загальна інструкція про заходи пожежної безпеки та інструкції для всіх вибухопожежонебезпечних, пожежонебезпечних та вибухонебезпечних приміщень (дільниць, цехів, складів, майстерень, лабораторій тощо).

Ці інструкції слід вивчати під час проведення протипожежних інструктажів, проходження пожежно-технічного мінімуму та виробничого навчання і вивішувати для ознайомлення в установлених місцях.

Порядок організації і проведення спеціального навчання, протипожежних інструктажів, навчання та перевірки знань з пожежно-технічного мінімуму встановлюється відповідно до НАПБ Б.02.005-2003.

У будинках і спорудах (крім житлових будинків), що мають два і більше поверхи, у разі одночасного перебування на поверсі більше 25 осіб мають бути розроблені і вивішені на видних місцях плани (схеми) евакуації людей у разі пожежі.

Необхідність забезпечення планами (схемами) евакуації одноповерхових будинків і споруд визначається місцевими органами державного пожежного нагляду, виходячи з пожежної небезпеки цих будинків (споруд), кількості працівників та площі приміщень.

Посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично один раз на три роки проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Вивчення заходів пожежної безпеки на підприємстві слід також передбачати в системі виробничого навчання робітників, службовців, інженерно-технічних працівників, а також з цією метою використовувати наявні на підприємстві місцеві системи радіомовлення тощо.

Забороняється допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, відповідні інструктажі і перевірку знань з питань пожежної безпеки.

У разі виникнення пожежі повинна бути забезпечена можливість безпечної евакуації людей, тварин і птиці з будинків та споруд об'єктів.

Двері на шляхах евакуації та виходів повинні відчинятися в напрямку виходу з будівлі. Влаштувати розсувні, підйомні та обертові двері на евакуаційних шляхах забороняється.

Слід постійно утримувати у справному робочому стані засоби протипожежного захисту (установки пожежної сигналізації, пожежогасіння, системи протидимового захисту, системи повідомлення, засоби протипожежного водопостачання, протипожежні двері, клапани, інші захисні пристрої у протипожежних стінах, перегородках та перекриттях) приміщень, будинків і споруд.

Окремий розділ правил присвячений вимогам пожежної безпеки до інженерного обладнання (у тому числі – до електричного освітлення і електрообладнання).

Електродвигуни, світлотехнічна продукція і комплектувальні вироби до неї та інше електрообладнання повинні відповідати чинним стандартам, технічним умовам, документації заводів-виробників і мати державний сертифікат відповідності, виданий в Українській державній системі сертифікації продукції (система УкрСЕПРО).

Черговий електрик (змінний електромонтер) повинен проводити планові, профілактичні огляди електрообладнання, перевіряти наявність та справність апаратів захисту і вживати негайних заходів з усунення порушень, які можуть призвести до пожежі. Результати оглядів електроустановок, виявлені несправності

та вжиті заходи фіксуються в оперативному або змінному журналі за підписом виконавця.

Усі несправності в електромережах і електроустановках, які можуть викликати іскріння, коротке замикання, нагрівання ізоляції кабелів і проводів, відмову автоматичних систем управління і релейного захисту тощо, повинні негайно усуватися.

Несправні електромережі і електроустановки потрібно відключати до приведення їх у пожежобезпечний стан.

Перевірка якості ізоляції кабелів, електропроводів, надійність з'єднань, захисного заземлення, режим роботи електродвигунів здійснюється електриками як зовнішнім оглядом, так і з допомогою приладів. Заміри опору ізоляції проводів проводяться в установлені терміни.

Електроустановки повинні бути захищені апаратами захисту від струмів короткого замикання. Плавкі вставки запобіжників мають бути калібровані із зазначенням на клеймі номінального струму вставки (клеймо ставить завод-виробник або електротехнічна лабораторія).

Забороняється застосування саморобних вставок (жучків).

З'єднання, окінцювання та відгалуження жил електропроводів і кабелів для створення пожежобезпечних перехідних опорів слід проводити за допомогою опресовування, зварювання, паяння або спеціальних гвинтових та болтових затискачів.

Нові підключення різних струмоприймачів (електродвигунів, нагрівальних приладів та ін.) слід проводити з урахуванням допустимого (максимально можливого) струмового навантаження електромережі, що існує.

Шафи з електрощитами, які перебувають у коридорах, вестибюлях та в інших шляхах евакуації, слід розміщувати в нішах або на висоті не менше ніж 2,2 м від підлоги та тримати зачиненими.

Електрощити слід оснащувати схемою підключення споживачів з пояснювальними написами.

У всіх приміщеннях (незалежно від призначення), які після закінчення робіт зачиняються і не контролюються черговим персоналом, усі електроустановки та електроприлади мають бути знеструмлені (за винятком тих, які працюють цілодобово за вимогами технології: чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок, електроустановок).

Усе електрообладнання (корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників, розподільних щитів, щитів управління, металеві корпуси; пересувні і переносні електроприймачі тощо) підлягає зануленню або заземленню (див. вище розрахунок заземлення).

Електродвигуни, світильники, проводи, розподільні пристрої слід очищати від пилу не рідше ніж два рази на місяць, а в запилених приміщеннях - щотижня.

Теплиці не входять до складу будівель і приміщень, що підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння, автоматичною пожежною та охоронною сигналізацією.

Проте кожне підприємство повинно бути забезпечене необхідною кількістю води для здійснення пожежогасіння (виходячи з вимог будівельних норм та інших нормативних документів).

Будівлі, споруди, виробничі, адміністративні, складські й допоміжні приміщення, технологічні установки, а також відкриті площадки для зберігання матеріалів, продукції, обладнання, стоянки автотранспортної техніки повинні бути забезпечені засобами гасіння пожеж: вогнегасниками, пожежним інвентарем (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати тощо) та ручним пожежним інструментом (гаки, ломи, сокири тощо).

Усі об'єкти АПК повинні бути оснащені первинними засобами пожежогасіння згідно з НАПБ Б.03.001-2004.

Норми і потреби в первинних засобах пожежогасіння для підприємств розраховуються відповідно до НАПБ Б.03.001-2004.

Для розміщення первинних засобів пожежогасіння у виробничих, складських та інших приміщеннях, будівлях, спорудах і на території підприємств, як правило, слід установлювати спеціальні пожежні щити (стенди).

На пожежних щитах (стендах) слід розміщувати ті первинні засоби гасіння пожеж, які можуть застосовуватись у даному приміщенні, споруді, установі.

Пожежні щити (стенди) і засоби пожежогасіння мають бути пофарбовані у відповідні кольори відповідно до вимог ГОСТ 12.4.026-76.

На пожежних щитах (стендах), ящиках для піску і бочках для води слід указувати їх порядкові номери. Порядковий номер пожежного щита (далі - ПЩ) позначають після алфавітного індексу ПЩ.

Вогнегасники всіх типів повинні мати сертифікати відповідності та проходити технічне обслуговування на спеціалізованих підприємствах, які мають ліцензію на провадження відповідного виду господарської діяльності.

Періодичність технічного обслуговування вогнегасників усіх типів повинна відповідати експлуатаційній документації, але не рідше одного разу на 2 роки.

Для гасіння електроустановок, що працюють під напругою до 1 000 В потрібно використовувати порошковий або вуглекислотний вогнегасник.

8. Техніко-економічні показники електропривода

Вступ

Однією з основних проблем України наразі є зниження споживання електричної енергії підприємствами. Морально і технічно застаріле електрообладнання має низьку надійність роботи, малий коефіцієнт корисної дії, вимагає великих витрат на обслуговування. Тому до сучасного електроприводу висуваються вимоги надійності роботи та скорочення часу обслуговування технічним персоналом.

В дипломній роботі розглядається автоматизація електроприводу насосу теплиці, яка дозволить знизити споживання енергії та більш раціонально використовувати двигун.

Пропоноване рішення: оснащення електроприводу перетворювачем частоти з датчиком вологості ґрунту.

Для обґрунтування економічної доцільності пропонується вирішити такі завдання.

8.1. Розрахунок капітальних витрат

Для визначення капітальних витрат скористаємось виразом

$$K_{\text{пр}} = \sum_1^k K_{\text{обі}} \cdot C_i + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{мн}} + Z_{\text{ін}}$$

де $\sum_1^k K_{\text{обі}} \cdot C_i$ – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів і-го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення, а k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{\text{тзс}}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{\text{мн}}$ – витрати на монтаж-налагоджувальні роботи;

$Z_{\text{пр}}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Таблиця 8.1 Капітальні витрати

Найменування	Тип	Ціна, тис. грн/шт	Кількість, шт	Загальна вартість, тис. грн
Насосний агрегат	K8/18	3,5	1	3,5
Електродвигун	АИР 80А2	2,95	1	2,95
Перетворювач частоти	Danfoss VLT Micro Drive FC 51	14,994	1	14,994
Датчик вологості ґрунту	MTR-731A	4,2	1	4,2
Усього вартість придбання електрообладнання $\sum_1^k \text{Кобі} \cdot \text{Ці}$				25,594
Транспортно-заготівельні і складські витрати		0,070	4	0,28
Монтажно-налагоджувальні роботи			1	1,108
Інші супутні витрати			1	4,224
Капітальні витрати				31,206

Витрати на монтажно-налагоджувальні роботи Z_m :

$$Z_m = \text{Чі} \cdot \alpha_i \cdot t_i \cdot \text{Кд} \cdot \text{КСМ} \cdot \text{Кпр} = 1 \cdot 94 \cdot 8 \cdot 1,15 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 1107,81 \text{ грн},$$

де $\text{Чі} = \sum (\text{Чі} \cdot a_i \cdot t_i) = 1$ – чисельність робітників, необхідних для виконання монтажу перетворювача, комутації його з двигуном та датчиком і налагодження системи;

$\alpha_i = 94$ грн – годинна тарифна ставка робітника, який виконує монтаж і налагодження,

$t_i = 8$ год - час, необхідний для виконання монтажних робіт;

$\text{Кд} = 1,15$ - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$\text{КСМ} = 1,22$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$\text{Кпр} = 1,05$ - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних робіт.

$Z_{\text{пр}} = 1485$ грн – витрати на придбання комутаційних кабелів і монтажних панелей.

Розрахуємо капітальні витрати:

$$K_{\text{пр}} = 25,594 + 0,28 + 1,108 + 4,224 = 31,206 \text{ тис. грн.}$$

8.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік).

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_z);
- єдиний соціальний внесок (C_c);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж (C_m);
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або втрат електроенергії (C_e);
- інші експлуатаційні витрати ($C_{\text{пр}}$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e + C_{\text{пр}}, \text{ грн.}$$

8.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Норма амортизації для електрообладнання (за даними таблиці 8.2 і Податкового кодексу України) становить 20 %, а мінімальний строк експлуатації становить 5 років.

Таблиця 8.2 Мінімумально допустимі терміни корисного використання за окремими групами основних засобів

Групи	Мінімумально допустимі терміни корисного використання, років
група 4 – машини і обладнання; – електронно-обчислювальні машини, інші машини для автоматичної обробки інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, комп'ютерні програми, інформаційні системи тощо	5 2
група 5 – транспортні засоби	5
група 6 – інструменти, інвентар, меблі	4

Амортизаційні відрахування розраховуються за наступним виразом:

$$C_a = \Phi_6 / T_{\text{мін}}, \text{ тис. грн,}$$

де Φ_6 – балансова вартість обладнання;

$T_{\text{мін}}$ – мінімальний строк експлуатації обладнання.

Розрахунок амортизаційних відрахувань наведено в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Тип	Балансова вартість всього, тис. грн	Мінімальний строк експлуатації, років	Річна сума амортизаційних відрахувань, тис. грн.
Насосний агрегат	3,5	5	0,7
Електродвигун	2,95	5	0,59
Перетворювач частоти	14,994	5	2,999
Датчик вологості ґрунту	4,2	5	1,05
Амортизаційні відрахування C_a			5,339

8.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робочі, ІТП, керівники), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їх чисельності, режиму роботи, тарифних ставок, посадових окладів, що застосовуються на підприємстві, форм і систем оплати праці та преміювання.

Приймемо, що обслуговує привод один електрик з окладом 8000 грн/міс і режимом роботи 8 год/день.

Він також отримує премії у розмірі 10% від окладу.

Отже, заробітна плата обслуговуючого персоналу за рік

$$C_3 = 1,1 (8000 * 12) = 105\ 600 \text{ грн.}$$

8.2.3 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини,

заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n \left(R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right)$$

де $n = 4$ – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

$R_i = 80$ – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

$t_i = 2$ (год) – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год/од;

$m_i = 1$ – число ремонтів за рік;

$R_{\Sigma} = 2.1$ – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання (Так як наше електротехнічне обладнання обслуговує асинхронні двигуни номінальною потужністю 1,5 кВт, то прийемо R_{Σ} рівним 2,1);

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

Π – кількість однотипних замінних елементів;

T – середній термін служби деталей даного типу, год.;

T_{ϕ} – число годин роботи апаратури на рік, год.

Витрати на поточний ремонт складуть:

$$Z_{тр} = 4 * (80 * 2 * 1 * 2,1) = 1\ 344 \text{ грн}$$

8.2.4 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування, втрат електроенергії та тарифу за формулою:

Вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування за рік:

$$C_e = P * T_{\phi} * Tar = 3 * 730 * 1,68 = 3\ 679,2 \text{ грн}$$

де $P = 3$ кВт – загальна споживана приводом потужність,

$T_{\phi} = 730$ годин,

$T_{ар} = 1,68$ – тариф за 1 кВт*год.

8.2.4. Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Згідно з практикою, ці витрати визначаються у розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{інш} = 0,04 \cdot C_з = 0,04 \cdot 105\,600 = 4\,224 \text{ грн.}$$

Висновок

Економічні показники проекту зведені у таблицю 8.4.

Таблиця 8.4 Економічні показники проекту

Найменування показника	Одиниці виміру	Проектний варіант
Капітальні витрати	тис. грн	31,206
Сумарні експлуатаційні витрати	тис. грн	120,186
Технічне обслуговування і поточний ремонт	тис. грн	1,344
Амортизаційні відрахування	тис. грн	5,339

ВИСНОВКИ

У дипломі теплицю площею 0,4 Га описано як об'єкт автоматизації.

Визначено, що для вирощування овочів рекомендується одне включення поливу на добу у вечірні години на 2 години.

Для поливу вибрано насос K8/18.

Для приводу насосу вибрано трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором АИР 80А2 потужністю 1,5 кВт.

Для живлення і управління роботою електродвигуна вибрано трифазний перетворювач частоти Danfoss VLT Micro Drive FC 51 потужністю 3,0 кВт.

Проведено тепловий розрахунок електродвигуна.

Надано рекомендації щодо охорони праці при роботі з електроустановками.

Розраховано заземлюючий пристрій.

Здійснено розрахунки техніко-економічних показників електропривода.

Завдання дипломного проекту виконано повністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сучасне тепличне господарство 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://infoindustria.com.ua/suchasne-teplichne-gospodarstvo-2019/>
2. ДБН В.2.5-74:2013 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди Основні положення проектування" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0133858-13#Text>
3. Насос К8-18 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://el-nasos.com.ua/p81927443-nasos-k818-analog.html>
4. Трифазні асинхронні двигуни серія АИР, каталог ТОВ «Еквівес» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ekvives.com/elektrodivigateli/seriya-air>
5. Частотный преобразователь Danfoss VLT Micro Drive FC 51 1,5 кВт / 3 фаз. (132F0020) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://provent.com.ua/product/chastotnyy-preobrazovatel-danfoss-vlt-micro-drive-fc-51-15-kvt--3-faz-132f0020/>
6. Электродвигатель трехфазный АИР80А2 (1,5кВт/3000об/мин) 380В, 220/380В [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/p978858004-elektrodivigatel-trehfaznyj-air80a2.html>
7. Датчик влажности почвы МТR-731А [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/p731078736-datchik-vlazhnosti-pochvy.html?&primelead=MQ>