

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ З РОЗРОБКОЮ
КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОДНОГО ВОДОНАГРІВАЧА»

Виконав: студент IV курсу

групи Ен – 42 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

_____ Мідянка Ю.В.

Керівник: _____ Марущак Я.Ю.

Рецензент: _____ Крогуль Р.Є.

ДУБЛЯНИ 2025

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)
к.т.н., доцент Левонюк В.

(вч. звання, прізвище, ініціали)

року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Мідянці Ю.В
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Електропостачання ремонтної майстерні з розробкою конструкції електродного водонагрівача»

керівник роботи _____ д.т.н., професор Марущак
Я.Ю.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 123/к-с від 25.02.25

*p.*_____

2. Строк подання студентом роботи 13.06.25

*p.*_____

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

РОЗРАХУНОК ТА ПІДКЛЮЧЕННЯ ВОДОНАГРІВАЧА

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Висновки

Перелік джерел посилання

Додатки

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

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент</i>			

7. Дата видачі завдання 25.02.25 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Виконання аналізу вихідних даних для реконструкції підстанції та обчислення нормальних і аварійних режимів роботи</i>	25.02.2025 – 7.03.2025	
2	<i>Розробка схеми відкритих розподільчих пристроїв підстанції та вибір основного обладнання</i>	10.03.2025 – 14.03.2025	
3	<i>Розробка системи релейного захисту трансформатора на основі мікропроцесорного реле</i>	17.03.2025 – 18.04.2025	
4	<i>Виконання структурно-функціонального аналізу процесу та розробка моделі травмонебезпечних та аварійних ситуацій</i>	21.04.2025 – 2.05.2025	
5	<i>Вивчення питання охорони праці та здійснення техніко-економічної оцінки прийнятих рішень</i>	5.05.2025 – 16.05.2025	

6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	<i>19.05.2025 – 30.05.2025</i>	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>2.06.2025 – 13.06.2025</i>	

Студент

_____ Мідянка Ю.В

(підпис)

(прізвище та ініціали)

УДК 621.320

Мідянка Ю.В. Електропостачання ремонтної майстерні з розробкою конструкції електродного водонагрівача. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. ГЖИЦЬКОГО, 2025. 49 с. текстової частини, 12 таблиць, 11 рисунків, 15 джерел посилання.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання електропостачання ремонтної майстерні з розробкою конструкції електродного водонагрівача. Проаналізовано заходи з охорони праці при монтажі та експлуатації пристроїв. Оцінено економічну ефективність запропонованих технічних рішень, визначено очікуваний економічний ефект та строк окупності.

Ключові слова: електропостачання ремонтної майстерні, електродний водонагрівач, релейний захист, коротке замикання.

Вступ

Актуальність роботи. Електропостачання підприємств, розташованих у сільській місцевості, має низку специфічних особливостей у порівнянні з електрозабезпеченням міських промислових об'єктів. Основна з них полягає в тому, що електроенергію потрібно подавати до багатьох об'єктів із відносно низьким енергоспоживанням, які часто розташовані на значній відстані один від одного. Це призводить до значного збільшення довжини мережі на одиницю встановленої потужності, що істотно перевищує аналогічні показники в інших сферах економіки. Як наслідок, витрати на електропостачання в агросекторі можуть сягати до 75% від загальної вартості електрифікації, включаючи закупівлю обладнання та механізмів.

Багато розподільчих електроліній було побудовано ще до 1970-х років у рамках масштабної програми електрифікації села, метою якої було досягнення максимальної охопленості за мінімальних фінансових витрат. Водночас, через поспішне впровадження, вимоги до надійності енергопостачання часто залишалися поза увагою. Наразі існують суттєві втрати енергії при її передачі, а автоматизація процесів управління енергетичними системами залишається недостатньо розвиненою. Впровадження сучасної електроніки й комп'ютерної техніки відбувається повільно.

Для вирішення цих проблем необхідно модернізувати наявну інфраструктуру й будувати нові мережі, дотримуючись принципів ефективного використання ресурсів та економічної доцільності. Особливу увагу слід приділяти впровадженню комплексної автоматизації: реалізації захисних механізмів від аварійних режимів, систем автоматичного повторного включення ліній, автоматизованого вводу резервного живлення, локалізації пошкоджених ділянок тощо.

Цей проєкт має на меті поглибити знання, отримані під час вивчення дисципліни «Електропостачання агропромислового комплексу», а також

навчити застосовувати їх на практиці при проектуванні електропостачання ремонтної майстерні із впровадженням конструкції електродного водонагрівача.

Військові дії та нестача електроенергії в Україні стимулює до використання енергоефективних електричних джерел світла.

Мета роботи: розроблення мереж електропостачання та електроосвітлення електротехнічної майстерні з розробкою конструкції електродного водонагрівача.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі **завдання**:

виконати аналіз рівня споживання електроенергії;

розрахувати силову електричну мережу;

розрахувати освітлювальну електричну мережу для компактних люмінісцентних ламп;

розрахувати освітлювальну електричну мережу для світлодіодних ламп;

розробити конструкцію електродного водонагрівача;

розрахувати техніко-економічні показники.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

Кузня розташована у спеціалізованому приміщенні павільйону механізації, що входить до навчальної інфраструктури Львівського національного аграрного університету, який знаходиться в місті Дубляни Львівської області, Жовківського району. Це виробнича майстерня, яка призначена для ручної обробки металу з використанням традиційних технологій кування.

У цьому приміщенні проводяться як навчальні заняття зі студентами, так і дослідницькі експерименти в рамках наукової діяльності. Основними елементами оснащення кузні є ковальське горно та ковадло, що дозволяють виконувати більшість базових операцій з обробки металу. До таких операцій належать: нагрівання та плавлення металу, лиття у форми, вільне кування, ковальське зварювання, горнове паяння міді, термічна обробка деталей, гартування, штампування, волочіння, згинання, кручення, чеканка тощо.

Для обробки металів застосовується базовий набір ковальських інструментів, таких як ручні молотки, кліщі, а також ковадло і нагрівальне обладнання — горно. В якості пального для горна використовують кам'яне вугілля, яке вважається одним із найбільш ефективних у ковальській практиці через свою високу теплотворність і доступність.

Однак важливо враховувати, що вугілля з високим вмістом сірки може негативно впливати на якість металевих заготовок через утворення шкідливих домішок при згорянні. Тому для кування рекомендовано застосовувати лише вугілля належної якості — чисте, з рівномірним полум'ям та мінімальним вмістом домішок. Ще одним видом пального є кокс, який утворюється шляхом обпалювання кам'яного вугілля при обмеженому доступі кисню. Кокс цінується за відсутність летких шкідливих компонентів, таких як сірка і фосфор.

Приміщення кузні має площу 44 м² та обладнане восьми видами стаціонарного устаткування, серед яких:

- настільне промислове точило потужністю 0,25 кВт;
- підлогове точило з потужністю 4 кВт;

- пневматичний молот потужністю 5,5 кВт;
- горно з піддувом на 0,25 кВт;
- відрізний верстат для металу потужністю 3 кВт;
- витяжний вентилятор на 2,2 кВт;
- термічні печі з потужністю 1,5 кВт та 3 кВт відповідно.

Освітленість у приміщенні відповідає нормативам для подібних об'єктів і становить 150 люкс.

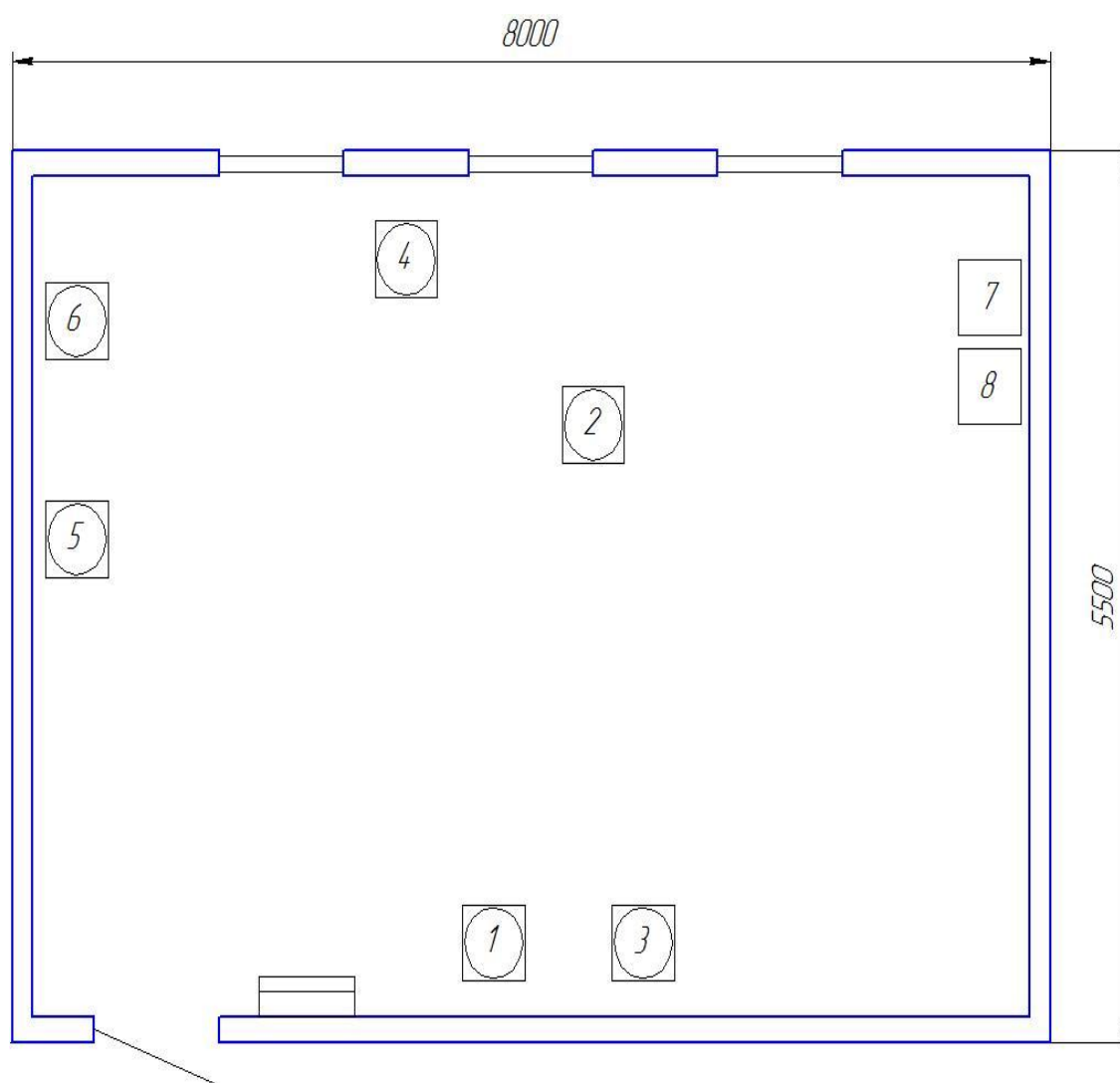


Рисунок 1.1 - Схема розміщення обладнання в кузні

Перелік обладнання та електродвигунів, а також їх характеристики заносимо в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Перелік електрообладнання та електродвигунів

п/п	Найменування обладнання	Номінальна потужність, кВт	Номінальний струм, А
1	Точило промислове, підлогове	0,25	1,75
2	Пневмомолот	5,5	11,4
3	Горно з піддувом	0,25	1,75
4	Відрізний станок для різки металу	3	6,7
5	Точило промислове, настільне	4	7,07
6	Витяжний вентилятор	2,2	4,8
7	Термопіч	1,5	6,8
8	Термопіч	3	13,6

2 РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Аналіз силового обладнання та електричних двигунів

Задане електрообладнання і двигуни заносимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Перелік електрообладнання та електродвигунів

п/п	Найменування обладнання	Номінальна потужність, кВт	Тип електродвигуна	Кі	Номінальний струм, А
1	Точило промислове, настільне	0,25	АИР71 А8	4	1,75
2	Пневмомолот	5,5	АИР112М4У3	7	11,4
3	Горно з піддувом	0,25	АИР71 А8	4	1,75
4	Відрізний станок для різки металу	3	АИР100S4У3	7	6,7
5	Точило промислове, підлогове	4	АИР90 LB2	7,5	7,07
6	Витяжний вентилятор	2,2	АИР90L4У3	5,5	4,8
7	Термопіч	1,5	-	-	6,8
8	Термопіч	3	-	-	13,6

Усі підібрані електродвигуни та елементи силового електрообладнання відображаються у схемі розрахунку та монтажу силової електромережі, яка представлена на графічному аркуші №2. Також на плані приміщень ремонтної майстерні вказується точне розташування кожного електротехнічного пристрою.

2.2 Вибір пуско-захисного обладнання та розподільних пристроїв

Підбір апаратури здійснюється з урахуванням кількох ключових факторів: номінальної напруги, типу та сили струму, умов експлуатації в конкретному кліматичному середовищі, необхідного ступеня захисту від зовнішніх впливів,

відповідності вимогам технологічного процесу та інших технічних характеристик.

Для ілюстрації цього підходу розглянемо вибір пуско-захисної апаратури для токарно-гвинторізного верстата моделі 1А62.

Дані електродвигуна наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Вихідні дані електродвигуна

Марка двигуна	Р _н , кВт	I _н , А	K _i
АИР71 А8	0,25	1,748	4

Визначаємо пусковий струм електродвигуна за формулою:

$$I_n = I_n K_i; \quad (2.1)$$

$$I_{n3} = 1,748 \cdot 4 = 6,993 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичний вимикач QF1 за умовами:

$$U_{a.ном} \geq U_{мер}; \quad (2.2)$$

$$I_{a.ном} \geq \sum I_n; \quad (2.3)$$

$$I_{p.ном} \geq \sum I_n. \quad (2.4)$$

Вибираємо автоматичний вимикач УкрЕМ ВА-2010-2:

$$220 = 220 \text{ В;}$$

$$6 > 1.748 \text{ А;}$$

$$2 > 1.748 \text{ А.}$$

Розрахунок кількості уставок, за яких тепловий розчіплювач не переходить у стан спрацювання, виконується за відповідною формулою.

$$n = \frac{I_n}{I_{p.n}}, \quad (2.5)$$

$$n = \frac{1.748}{6} = 0,291.$$

Здійснюємо перевірку автоматичного вимикача на здатність відключення у разі пускового струму електродвигунів, виходячи з відповідної умови.

$$I_{y.e} \geq K_z K_{p.y} [I_{n1} + I_{n3} (K_{p.n} K_{i3} - 1)], \quad (2.6)$$

$$10 \cdot 2 > 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,75 \cdot [(1,2 \cdot 7 - 1)] \text{ А},$$

$$20 > 160,765 \text{ А}.$$

Вибираємо електромагнітний пускач КМ1 за умовами:

$$U_{p.ном} \geq U_{мер}; \quad (2.7)$$

$$I_{p.ном} \geq \sum I_{н.дв}; \quad (2.8)$$

$$I_{p.ном} \geq \frac{\sum I_n}{6}; \quad (2.9)$$

Вибираємо електромагнітний пускач серії ПМ1 – 0.9:

$$220 = 220 \text{ В};$$

$$9 > 1.748 \text{ А};$$

$$9 > 2.039 \text{ А}.$$

Вибираємо електротеплове реле за умовами:

$$U_{p.ном} \geq U_{мер}; \quad (2.10)$$

$$I_{p.ном} \geq I_{н.дв};$$

$$I_{н.б} \geq I_{н.дв}; \quad (2.11)$$

Вибираємо електротеплове реле РТ-1310 ($I_n=4 \dots 6 \text{ А}$).

За таким же принципом здійснюється добір іншого пуско-захисного обладнання, яке фіксується в таблиці 2.4. У цій таблиці подано тип і марку електроприймачів разом із їхніми технічними характеристиками, а також зазначено тип і параметри відповідного пуско-захисного устаткування.

Усі автоматичні вимикачі встановлюються у розподільчих щитах, а їхні позначення та захисні пристрої, що в них розміщені, відображені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики розподільних щитків

Розподільний пункт	Тип щитка	Кількість вимикачів			Ступінь захисту	Кліматичне виконання
		АЕ2020	УкрЕМ ВА-2010-2	ВА51Г-25-34		
СЩ1	ПР-41-4304-43УЗ	4	2	2	IP54	УЗ

Таблиця 2.4 - Перелік пуско-захисного обладнання

Найменування обладнання	P_n , кВт	I_n , А	Марки електромагнітних пускачів	I_n , А	Марки автоматичних вимикачів	$I_{н.а.}$, А	$I_{н.р.}$, А	Марка теплового реле	$I_{тр.с.}$, А
Точило промислове, настільне	0,25	1,75	ПМ1 – 0.9	9	УкрЕМ ВА-2010-2	6	2	РТ-1310	4...6
Пневмомолот	5,5	11,4	ПМЛ 222002	22	ВА51Г-25-34	25	12,5	РТ-1321	12...19
Горно з піддувом	0,25	1,75	ПМ1 – 0.9	9	УкрЕМ ВА-2010-2	6	2	РТ-1310	4...6
Відрізний станок для різки металу	3	6,7	ПМЛ 121002	10	АЕ 2020	16	10	РТЛ-101204	6,8
Точило промислове, підлогове	4	7,07	ПМЛ 121002	10	АЕ 2020	16	10	РТ-1307	7...10
Витяжний вентилятор	2,2	4,8	ПМЛ 121002	6	АЕ 2020	16	10	РТЛ-101004	5,0
Термопіч	1,5	6,8	-	-	АЕ 2020	16	10	РТЛ-101204	6,8
Термопіч	3	13,6	-	-	ВА51Г-25-34	25	12,5	РТ-1321	12...19

2.3 Вибір марок і перерізів проводів, кабелів та способів їх прокладання

У сільському господарстві зазвичай застосовують кабельно-провідникову продукцію з алюмінієвими жилами, переріз яких становить не менше 2,5 мм². Зазвичай для монтажу обирають варіанти електропроводки, які не передбачають використання металевих труб. У цьому ж випадку всі силові лінії буде розміщено всередині сталевих труб — це рішення прийнято для забезпечення додаткового захисту ізоляції та струмопровідних жил від можливих механічних ушкоджень.

Площу перерізу жил провідників або кабеля в кожному випадку вибираємо так, щоб тривало допустимий для нього за нагрівом струм навантаження $I_{\text{доп}}$ був не меншим максимального тривалого робочого струму електричного кола $I_{\text{макс.р}}$, тобто

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{макс.р}}.$$

Найбільше значення робочого струму для магістралі, що забезпечує електроживленням групу споживачів, обчислюється за наступним розрахунковим виразом:

$$I_{\text{макс.р}} = K_o \sum_1^n I_{\text{ном}}. \quad (2.11)$$

Провідник, підібраний за допустимим струмом навантаження (з урахуванням нагріву), слід додатково перевірити на відповідність його поперечного перерізу параметрам захисного апарата, використовуючи умову:

$$I_{\text{доп}} \geq K_z I_z, \quad (2.12)$$

де K_z - кратність допустимого струму провідника по відношенню до номінального струму спрацювання захисного апарату, $K_z = 1$;

I_z - сила номінального струму або струму спрацювання захисного апарату.

Для прикладу вибираємо кабель, який буде жити точило промислове, настільне, від мережі марки АВВГ АППВ $2 \times 0,5 = 12$ А.

$$I_{\text{макс.р}} = 1 \cdot 1.53 = 1.53 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot 12 = 12 \text{ А};$$

$$12 \text{ А} > 1.53 \text{ А}.$$

Аналогічно вибираємо інші кабелі і заносимо в таблицю .2.

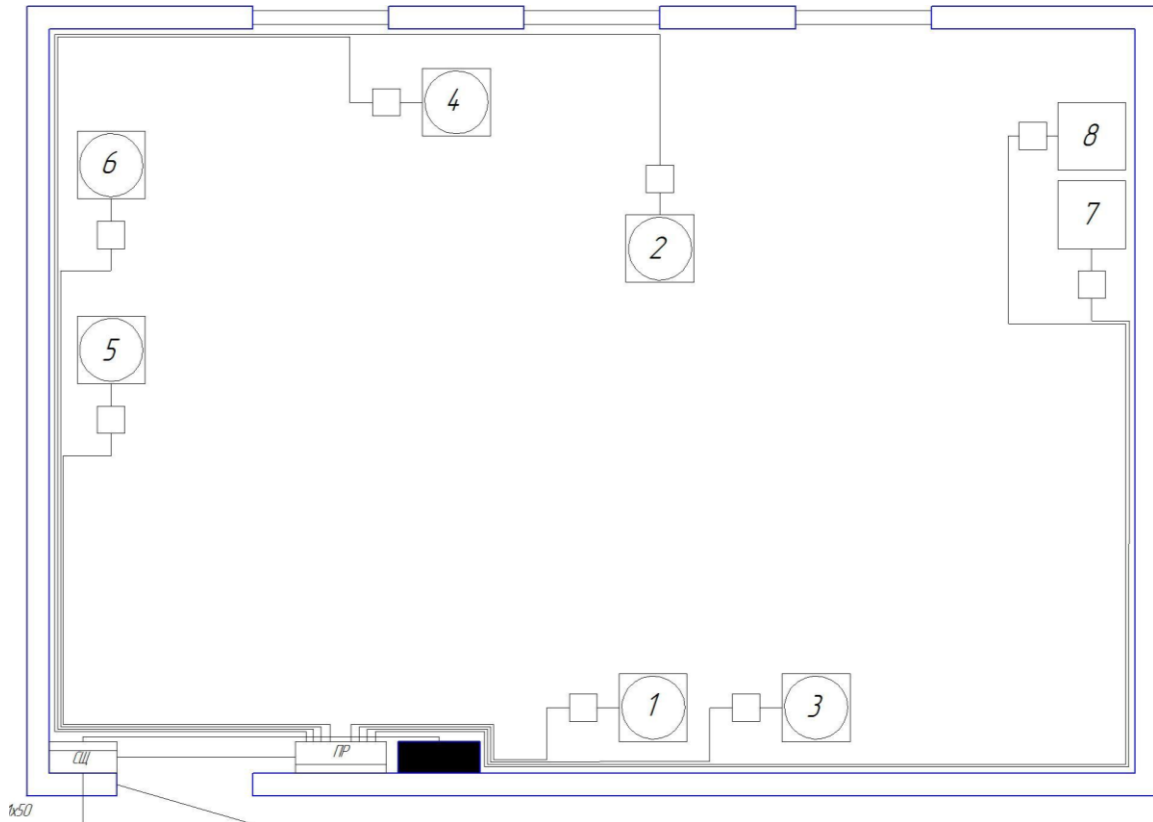


Рисунок 2.1 - Схема силової мережі.

Таблиця 2 .5 - Марки кабелів для живлення електрообладнання

№ п/п	Найменування обладнання	Номінальна потужність, кВт	Номінальний струм, А	Марка кабеля, про- во- да	I _{доп} , А
1	Точило промислове, настільне	0,25	1,75	АППВ 2×0,5	12
2	Пневмомолот	5,5	11,4	АВВГ 4×2	15
3	Горно з піддувом	0,25	1,75	АППВ 2×0,5	12
4	Відрізний станок для різки металу	3	6,7	АВВГ 4×2	15
5	Точило промислове, підлогове	4	7,07	АВВГ 4×2	15
6	Витяжний вентилятор	2,2	4,8	АВВГ 4×2	15
7	Термопіді	1,5	6,8	АВВГ 4×2	15
8	Термопіді	3	13,6	АВВГ 4×2	15

2.4 Складання розрахунково-монтажної схеми силової мережі

Під час побудови розрахунково-монтажної схеми силової частини електромережі необхідно забезпечити таке розміщення усіх елементів автоматизації, комутаційної апаратури, вводів та розподільчих пристроїв, яке б максимально сприяло ефективному функціонуванню виробничого процесу. При цьому важливо врахувати умови експлуатації обладнання з метою гарантування безпечного і зручного доступу для обслуговування.

На кожній електричній лінії зазначаються тип, марка та площа поперечного перерізу кабелів або проводів, а також спосіб їх прокладання. Над груповими мережами вказують відповідні номери груп.

Схематичне зображення силової мережі представлено на другому аркуші графічної частини даної роботи.

3 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ОСВІТЛЕННЯ З КОМПАКТНИМИ ЛЮМІНІСЦЕНТНИМИ ЛАМПАМИ

3.1 Загальні відомості про КЛЛ

Перші зразки люмінесцентних джерел світла були розроблені у Сполучених Штатах у 1930-х роках. Їх масове використання почалося лише у середині ХХ століття — переважно в 1950–60-х роках. Сьогодні люмінесцентні лампи є другим за популярністю типом освітлення у світі після традиційних ламп розжарювання.

Одним із основних недоліків стандартних трубчастих люмінесцентних ламп були їхні значні габарити. У великих виробничих приміщеннях чи адміністративних будівлях це не створювало істотних незручностей, однак у побуті, попри високу енергоефективність, великі розміри обмежували їх застосування.

Завданням виробників було створення більш компактної версії лампи, і тільки у 1980-х роках завдяки удосконаленню люмінофорних покриттів стало можливим зменшити діаметр колби до 12 мм. Згорнувши трубку кілька разів, вдалося отримати компактну форму освітлювального приладу. З плином часу ці лампи стали настільки мініатюрними й легкими, що змогли повністю витіснити лампи розжарювання в багатьох сферах.

Так з'явилася компактна люмінесцентна лампа (КЛЛ), яка отримала в народі безліч неформальних назв: «економка», «енергозберігаюча лампа», «кллка» тощо. Проте багато з цих назв є узагальненими й не зовсім точними, адже до категорії енергозберігаючих також відносяться, наприклад, світлодіодні або натрієві лампи високого тиску (ДНаТ), що широко застосовуються у вуличному та промисловому освітленні.



Рисунок 3.1 - Компактна люмінесцентна лампа (енергозберігаюча лампа)

Компактна люмінесцентна лампа (КЛЛ) складається з двох головних частин: основи (цоколя) та скляної трубки (колби). У середині колби знаходяться вольфрамові електроди, вкриті спеціальними активними речовинами — оксидами барію, кальцію та стронцію. Простір у колбі заповнений сумішшю інертного газу й парів ртуті. Саме ці пари під час іонізації створюють світлове випромінювання, коли лампа перебуває в робочому стані. Колбу вигинають кілька разів, щоб зменшити загальні габарити виробу.

Після підключення живлення між електродами виникає електричний розряд, який активує процес випромінювання. Основна частина випромінювання (близько 98%) належить до ультрафіолетового спектру, тож його потрібно перетворити у видиме світло. Для цього внутрішню поверхню колби покривають люмінофором — речовиною, яка світиться під дією ультрафіолету. Від складу люмінофора залежить колір і якість освітлення, тому саме він визначає основні світлотехнічні характеристики лампи.

У компактних люмінесцентних лампах застосовують багат шарові люмінофори на основі рідкоземельних матеріалів (три- та п'ятишарові). Їхня вартість у десятки разів перевищує вартість люмінофорів, що використовуються в традиційних трубчастих лампах. Проте такі матеріали дозволяють витримувати вищі щільності ультрафіолетового випромінювання, що дало змогу зменшити діаметр трубки. Щоб скоротити довжину лампи при збереженні її ефективності, трубку поділяють на кілька коротких сегментів, з'єднаних між собою.

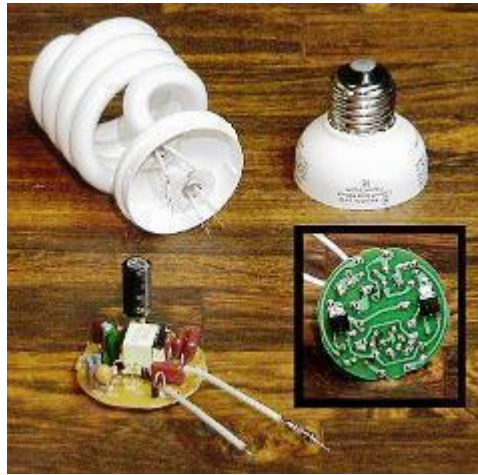


Рисунок 3.2 - Пристрій компактної люмінесцентної лампи

Люмінесцентні лампи не можуть функціонувати напряму від мережі — для їхньої роботи обов'язково потрібна спеціальна пуско-регулювальна апаратура (ПРА). Сучасні компактні люмінесцентні лампи зазвичай працюють із електронними пуско-регулювальними пристроями (ЕПРА), які значно підвищують ефективність ламп.

ЕПРА (їх ще називають електронними баластами) забезпечують живлення лампи змінним струмом високої частоти (до 50 кГц), що дозволяє уникнути мерехтіння, характерного для старих моделей, підвищити світловий потік і, як наслідок, покращити світлову ефективність. Інвертор у складі ЕПРА перетворює постійний струм у високочастотні імпульси, які й живлять лампу.

Окрім цього, електронні баласты покращують коефіцієнт потужності, наближаючи його до одиниці, що робить навантаження майже повністю активним — тож немає потреби компенсувати реактивну складову струму. Перед запуском ЕПРА підігріває електроди, що сприяє м'якому пуску, а під час роботи стабілізує потужність навіть при коливаннях напруги в мережі. Тривалість служби КЛЛ значною мірою залежить від надійності цієї апаратури.

Усі КЛЛ поділяють на дві основні категорії: з вбудованою пуско-регулювальною апаратурою та з зовнішньою. Перший тип ламп уже містить ЕПРА всередині корпусу, тоді як другий призначений для підключення до окремих ПРА або ЕПРА.

Лампи з зовнішнім пристроєм часто мають спеціальні цоколі — на два або чотири штирі. У двоштирових лампах часто є вбудовані стартери й фільтруючі

конденсатори, але для їх увімкнення обов'язково потрібен дросель. Такі лампи не сумісні з електронними баластами, оскільки стартер всередині не дасть їм нормально запуститись. У чотириштирових лампах можливе використання як дроселів, так і ЕПРА, однак деякі моделі створені виключно для роботи з електронною апаратурою.

Існує широкий спектр типів цоколів — близько 20 різновидів, і кожен з них відповідає конкретній потужності лампи. Це унеможливорює неправильне встановлення лампи невідповідної потужності в світильник, забезпечуючи сумісність і безпеку.



Рисунок 3.3 - Компактні люмінесцентні лампи для роботи із зовнішнім ЕПРА

Компактні люмінесцентні лампи, які мають вбудовану електронну пуско-регулюючу апаратуру (ЕПРА), розміщену безпосередньо в цоколі, зазвичай комплектуються стандартними різьбовими цоколями типу E27 або меншого формату E14 (так званий “мінйон”). Ці моделі спеціально розроблені для легкого встановлення в місце звичайної лампи розжарювання — без потреби змінювати сам світильник чи його електричну частину.

Щоб задовольнити потреби споживачів, яким некомфортне холодне біле світло, виробники пропонують варіанти КЛЛ із теплим відтінком, що нагадує світло традиційних ламп розжарювання. Їхня колірна температура становить близько 2700 К, тоді як інші моделі КЛЛ охоплюють діапазон від 3300 до 6500 К, створюючи холодніше або нейтральне освітлення.

Такі лампи виготовляються з різною споживаною потужністю — від 5 до 55 Вт, проте найчастіше зустрічаються моделі на 5, 7, 9, 11, 15, 20 і 23 Вт. Варто зазначити, що чим потужніша лампа, тим більші її габарити. Це може створити труднощі при спробі замінити нею звичайну лампу розжарювання, особливо в компактних або декоративних світильниках.



Рисунок 3.4 - Компактні люмінесцентні лампи з вбудованим ЕПРА

Компактні люмінесцентні лампи мають середній ресурс роботи близько 10 тисяч годин, хоча деякі виробники гарантують термін служби до 15 тисяч годин. Серед найбільш надійних брендів варто виділити PHILIPS, OSRAM, Sylvania та General Electric.

Варто враховувати, що такі лампи не сумісні зі звичайними диммерами — пристроями для регулювання яскравості світла. Хоча на ринку існують спеціальні електронні пуско-регулюючі пристрої (ЕПРА), що дозволяють змінювати інтенсивність світіння КЛЛ, вони зустрічаються рідко, коштують дорожче за звичайні і здебільшого застосовуються для лінійних люмінесцентних ламп у великих адміністративних системах з централізованим керуванням освітленням.

Якщо плануєте замінити лампу розжарювання на компактку люмінесцентну, а у вас встановлено диммер, варто подумати про його перенесення та використовувати звичайні вимикачі для включення й вимкнення світла.

Окрім стандартних моделей, існує багато незвичних варіантів компактних люмінесцентних ламп із нестандартним дизайном або інноваційними функціями. Наприклад, Philips випускає модель Tornado ESaver Automatic, призначену для вуличного освітлення, яка оснащена вбудованим світлочутливим датчиком, що автоматично вмикає або вимикає лампу залежно від рівня природного освітлення.

3.2 Розрахунок освітлювальних установок з КЛЛ кузні

Для освітлення кузні застосовуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку, який зазвичай використовують при розрахунку рівномірного загального освітлення у виробничих та громадських приміщеннях за допомогою світильників, що дають розсіяне світло.

Габарити кузні складають 8 м у довжину, 5,5 м у ширину та 7 м у висоту.

Для забезпечення рівномірного освітлення обираємо загальну систему освітлення, а з урахуванням умов експлуатації – світильники типу НСП01.

Висоту встановлення світильників визначаємо за формулою (2.1):

Приймаємо $h_3 = 2,5$ м;

Приймаємо $h_p = 1$ м.

$$H_p = 7 - (2,5 + 1) = 3,5 \text{ м.}$$

Вибираємо значення найвигіднішої відносної відстані між світильниками для кривої К $\lambda = 0,4 \dots 0,7$. Приймаємо $\lambda = 0,6$.

Визначаємо оптимальну відстань між світильниками за формулою (2.2):

$$L = 0,6 \cdot 3,5 = 2,1 \text{ м.}$$

Обчислюємо число рядів світильників, користуючись формулою (2.3):

$$n_p = \frac{55}{2,1} = 2,6$$

Приймаємо $n_p = 3$.

Обчислюємо відстань від крайніх світильників до стін за формулою (2.4):

$$L_c = 0,5 \cdot 2,1 = 1,05 \text{ м.}$$

Визначаємо розрахункову відстань між рядами світильників за формулою (2.5):

$$L_B = \frac{5,5 - 2 \cdot 1,05}{3 - 1} = 1,7 \text{ м.}$$

Розрахункову відстань між світильниками в одному ряду обчислюємо за формулою (2.6):

$$L_a = \frac{2,1^2}{1,7} = 2,59 \text{ м.}$$

Кількість світильників у кожному ряду розраховуємо за формулою (2.7):

$$n_a = \frac{8 - 2 \cdot 1,05}{2,59} = 2,27$$

Приймаємо $n_a = 2$.

Загальну кількість світильників обчислюємо за формулою (2.8):

$$N = 3 \cdot 2 = 6$$

Індекс приміщення розраховуємо за формулою (2.9):

$$i = \frac{8 \cdot 5,5}{3,5 \cdot (8 + 5,5)} = 0,93$$

Беремо коефіцієнти відбивання: стелі $\rho_{\text{ст}} = 50\%$; стін $\rho_{\text{с}} = 30\%$; підлоги $\rho_{\text{п}} = 10\%$.

Вибираємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,59$.

Приймаємо нормовану освітленість $E_{\text{н}} = 150 \text{ лк.}$

Беремо коефіцієнт запасу $K = 1,5$.

Визначаємо розрахунковий світловий потік світильника за формулою (2.10):

$$\Phi_{p.c} = \frac{E_{\text{н}} \cdot ABKZ}{N\eta}$$

де Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $Z = 1,1$.

$$\Phi_{p.c} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 5,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,52} = 3076,3 \text{ лм.}$$

Вибираємо КЛЛ типу Tornado High Lumen 42W/827 з $P_n = 42$ Вт, $\Phi_{\text{л}} = 3100$ лм. Вибираємо світильник НСП21-200-005.

Визначаємо фактичну освітленість за формулою (2.11):

$$E_{\phi} = 150 \cdot \frac{3100 \cdot 1}{3076,3} = 151,2 \text{ лк.}$$

Визначаємо відхилення освітленості за формулою (2.12):

$$E = \frac{151,2 - 150}{150} \cdot 100 \approx 1,2 \%$$

Відхилення є допустимим, тому, що знаходиться у межах $+20 \dots -10 \%$.

Визначаємо установлену потужність освітлювальної установки за формулою (2.13):

$$P_y = 42 \cdot 1 \cdot 6 = 252 \text{ Вт.}$$

3.3 Вибір пуско-захисної апаратури освітлювальної мережі

Відповідно до методики, викладеної у розділі 2.1.2, та з урахуванням усіх встановлених вимог, здійснюємо класифікацію освітлювальних ліній на окремі групи. Результати цієї класифікації фіксуємо у таблиці 3.1, де зазначаємо номер кожної групи, кількість світлових джерел, що їй належать, а також сумарну встановлену потужність ламп у складі групи та інші важливі характеристики. Розподіл груп оформлюємо у вигляді структурованої таблиці.

Таблиця 3.2 Розподіл освітлювальної електропроводки на групи

Номер та тип щитка	Номер групи	Кількість ламп	Установлена потужність ламп, кВт	Примітка
ЩО ОП- ЗУХЛ 4	1	3	0,126	Технологічне освітлення
	2	3	0,126	Технологічне освітлення
	3	-	-	Резерв

Розрахункові струми груп визнаємо для однофазних груп з лампами розжарювання за формулою (2.15):

$$I_{ep1} = \frac{0,126 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,96} = 0.6 \text{ А};$$

$$I_{ep2} = \frac{0,126 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,96} = 0.6 \text{ А};$$

Вибір типу освітлювальних щитків здійснюємо залежно від кількості освітлювальних груп: для трьох груп використовуємо щиток моделі ОП-3УХЛ4. Номінальні значення струмів автоматичних вимикачів підбираємо, враховуючи такі критерії:

$$I_{ном.р} \geq I_{розр};$$

$$I_{у.е} \geq 1,4 \cdot I_{розр}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач для групи 1 освітлювального щитка серії АЕ1000 з $I_{ном.р} = 0,8 \text{ А}$, $I_{ном.а} = 10 \text{ А}$.

3.4 Вибір марок і перерізів проводів, кабелів та способів їх прокладання

В сільськогосподарських будівлях освітлювальні електричні мережі можуть прокладатися як відкритим, так і закритим способом — на тросах, у пластикових або металевих трубах, у спеціальних каналах конструкцій, по стінах або на стелі. Вибір типу проводки, марки та способу укладання кабелю залежить від призначення приміщення, архітектурних особливостей будівлі, впливу навколишнього середовища, характеристик та режиму роботи електроприладів, а також вимог безпеки та пожежної охорони. У цьому випадку для приміщення обираємо закриту проводку, заховану під шаром штукатурки. Розмір перерізу проводу, який використовуватиметься для електромонтажу, розраховуємо за формулою (2.16):

$$I_{дон} \geq I_{р.мак},$$

де $I_{р.мак}$ - робочий максимальний струм групи, А.

Для груп 1-2 освітлювального щитка вибираємо провід типу ППВ 2×0,5 з $I_{дон} = 11 \text{ А}$.

$$11 > 0,6 \text{ А}.$$

Умова виконується.

Розрахунок втрати напруги проводимо за формулою (2.17):

Визначаємо втрату напруги для груп освітлювального щитка ОП-3УХЛ4:

$$\Delta U_1 = \frac{0,126 \cdot 23}{12,8 \cdot 0,5} = 1,035 \quad \%;$$

$$\Delta U_2 = \frac{0,126 \cdot 19}{12,8 \cdot 1} = 0,19 \quad \%;$$

Оскільки падіння напруги не перевищує допустимі 2,5%, провід залишаємо без змін.

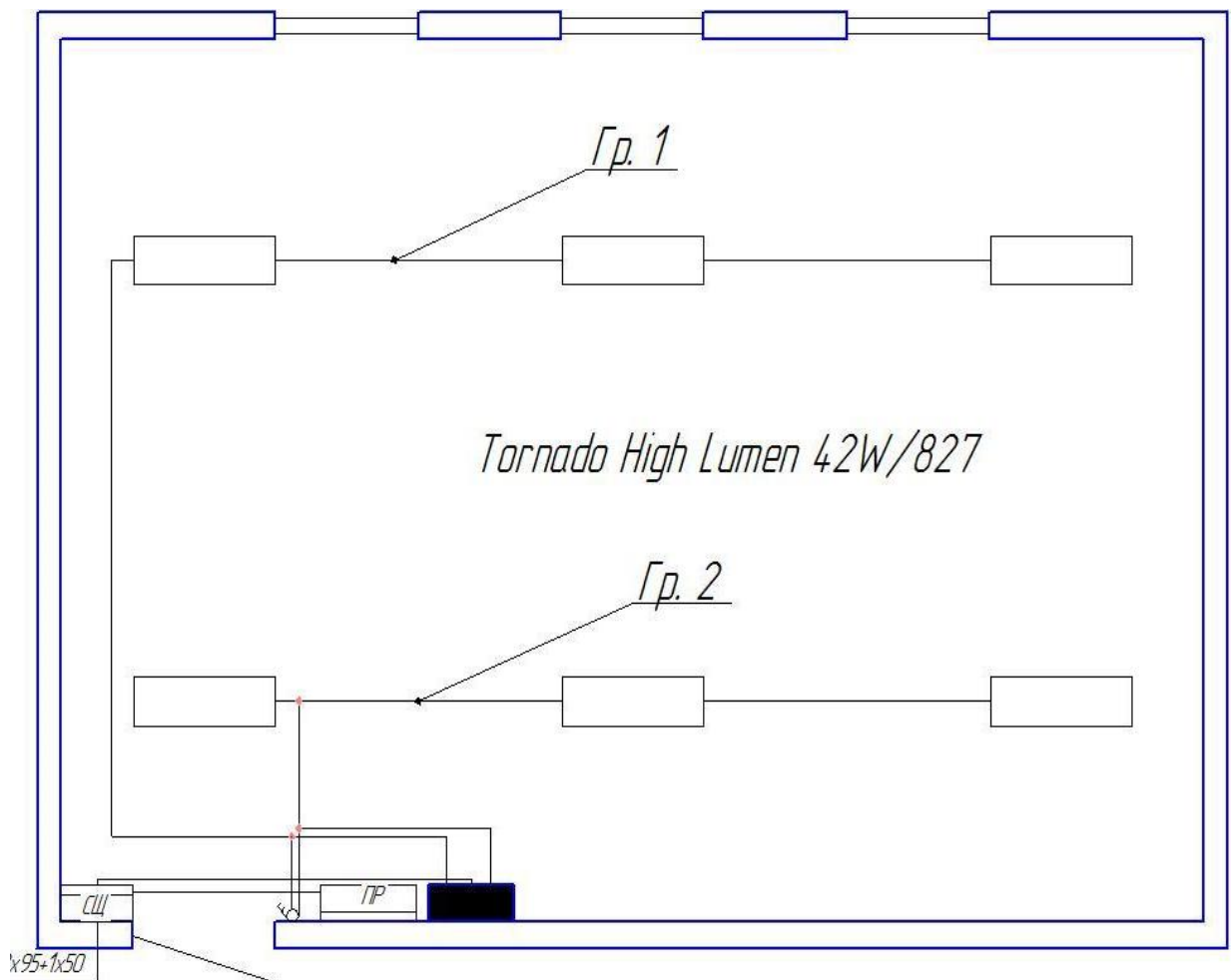


Рисунок 3.4 - Схема освітлювальної мережі з КЛЛ.

3.5 Складання розрахунково-монтажної схеми освітлювальної мережі

Проект розрахунково-монтажної схеми освітлювальних мереж формується на основі підбраної пуско-захисної апаратури, вибраних марок і перерізів проводів, а також розподілу освітлення на окремі групи.

У цій схемі відображаються типи освітлювальних щитків, нумерація та організація груп, типи автоматичних вимикачів із їх номінальними струмами, довжини проводів кожної групи разом із їх марками, сумарна встановлена потужність, втрати напруги, а також назви відповідних навантажень.

Усі дані систематизовані у вигляді таблиці і подані на другому аркуші графічної частини проекту.

4 РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ОСВІТЛЕННЯ З СВІТЛОДІОДНИМИ ЛАМПАМИ

4.1 Загальні відомості про світлодіодні лампи

Енергозберігаючі лампи — це не лише компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ). Існує ще один вид таких ламп — світлодіодні лампи, які за показниками ефективності та економії електроенергії значно перевершують КЛЛ. На нашу думку, саме розвиток і впровадження світлодіодних технологій має стати пріоритетом, а не поширення КЛЛ.

Єдине, що поки гальмує широке застосування світлодіодних ламп — їхня досить висока ціна на ринку, але з часом вона стрімко знижується й стає доступнішою.

Далі розглянемо детальніше будову світлодіодних ламп, їхній принцип дії та основні особливості.



Рисунок 4.1 - Конструкція світлодіодної лампи

Світлодіодна лампа складається з кількох ключових компонентів: розсіювача (1), безпосередньо світлодіодів (2), плати для їх монтажу (3), радіатора для відводу тепла (4), драйвера, який регулює живлення (5), вентиляційних отворів для забезпечення повітрообміну (6) та цоколя (7).

Розглянемо функції кожного з цих елементів.

Світлодіоди випромінюють світло в досить вузькому куті — близько 60 градусів, тому для рівномірного освітлення приміщень застосовують розсіювачі, які розширюють світловий потік. Якщо ж потрібне спрямоване світло, наприклад, для настільних ламп, використовують лампи без розсіювачів, щоб зберегти вузький світловий пучок.

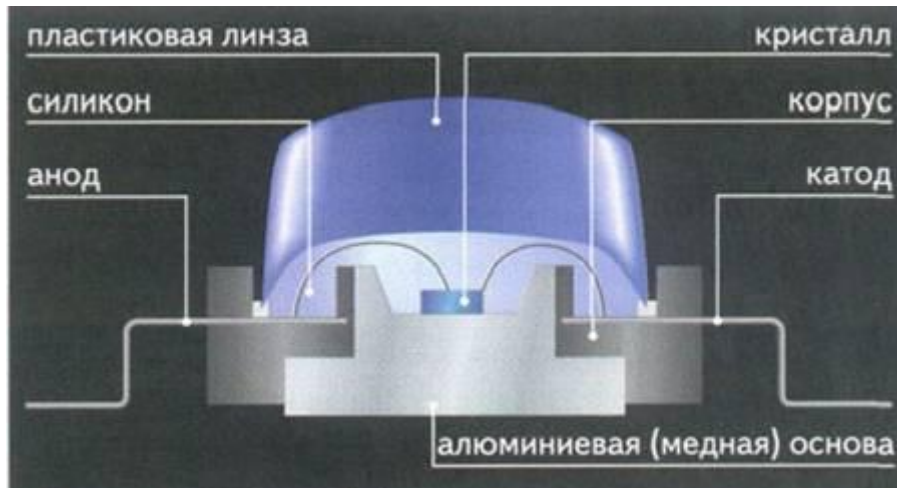


Рисунок 4.2 - Будова світлодіода

Світлодіод — це напівпровідниковий пристрій, який перетворює електричний струм, що через нього проходить, у світлове випромінювання. На схемі світлодіода показано його базову конструкцію. Однак потужні світлодіоди, які широко застосовуються у світлодіодних лампах, мають один суттєвий недолік: їхній рп-перехід не є ідеальним. Частина енергії електронів витрачається не на створення фотонів, а переходить у тепло, що спричиняє енергетичні втрати. Щоб зменшити перегрів, світлодіоди оснащують радіаторами для ефективного відведення тепла.

Драйвер — це електронна схема, яка перетворює вхідну напругу до рівня, необхідного для живлення світлодіодів. Крім того, драйвер формує певну частоту живлення, що має дві важливі функції: по-перше, завдяки зміні частоти, а не напруги, регулюється яскравість світіння; по-друге, це дозволяє збільшити термін служби світлодіодів, уповільнюючи їх деградацію. Типова схема драйвера часто не має трансформатора і підключає світлодіоди послідовно, що знижує вартість виробу, хоч і має певні технічні обмеження.

Вентиляційні отвори забезпечують циркуляцію повітря всередині лампи для охолодження драйвера, тоді як радіатор відповідає за відведення тепла від самих світлодіодів. Цоколь слугує для підключення лампи до електромережі та може бути виконаний у різних стандартах, зокрема у популярному форматі E27, що робить такі лампи сумісними з традиційними лампами розжарювання.

Переваги світлодіодних ламп

Лампи розжарювання та світлодіодні лампи за своєю конструкцією практично не завдають шкоди навколишньому середовищу, на відміну від компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ). Якщо КЛЛ розбивається в приміщенні, це призводить до значного забруднення, яке ніяка економія енергії не зможе компенсувати.

Ще одна вагома перевага світлодіодних ламп — їхній надзвичайно тривалий термін служби. Виробники часто заявляють про 100 000 годин роботи, що еквівалентно приблизно 11 рокам безперервного використання. Хоча такі тести навряд чи проводились у реальних умовах, більш реалістичною можна вважати цифру у 50 000 годин, що теж є вражаючим показником — це близько 5 років безперервної роботи, у той час як традиційні лампи розжарювання працюють лише близько 1000 годин.

Ще один істотний плюс світлодіодів — мінімальне тепловиділення. На відміну від ламп розжарювання, які перетворюють до 95% енергії у тепло, світлодіодні лампи мають ефективність понад 50%, а це означає значно менші втрати енергії. Звичайно, це залежить від якості та технології виробництва.

До переваг також слід віднести стабільність світлового потоку: завдяки живленню від постійного струму світлодіоди випромінюють рівномірне, неперервне світло без мерехтіння.

У спектрі світлодіодного випромінювання відсутні шкідливі ультрафіолетові та інфрачервоні промені, що робить їх більш безпечними для очей і предметів навколо.

Світлодіодні лампи здатні працювати у широкому діапазоні напруг — від 80 до 230 В, при цьому хоча інтенсивність світіння може змінюватися, лампа продовжить працювати.

Ще одна важлива перевага — міцність конструкції: корпус лампи виготовлений із пластику, який не розбивається при падінні, на відміну від крихких колб інших ламп. Крім того, у світлодіодів немає тендітних ниток розжарювання або скляних елементів, що робить їх більш надійними та довговічними.

Недоліки світлодіодних ламп

Головним недоліком цього типу ламп є їх висока ціна. Наразі вони значно дорожчі за лампи розжарювання та компактні люмінесцентні лампи. Проте цей мінус не слід переоцінювати, оскільки з часом вкладені кошти повністю окупляться завдяки економії енергії.

Ще одним недоліком є виділення тепла, але воно набагато контрольованіше, ніж у традиційних лампах розжарювання. Світлодіодні лампи оснащені спеціальним радіатором, який ефективно відводить тепло від світлодіодів, тому повітря у приміщенні не перегрівається.

Також варто зазначити, що у світлодіодних ламп є драйвер — електронний блок живлення. Чим складніша його конструкція, тим більша ймовірність поломки окремих компонентів, що може призвести до виходу з ладу лампи в цілому. Однак надійність залежить від якості використаних деталей і рівня збірки.

Площа ремонтно-механічного цеху становить $8 \times 5,5 \times 7$ метрів. Для забезпечення загального і рівномірного освітлення обираємо світильники типу Escorn NSIL250, що відповідають умовам навколишнього середовища.

Висоту підвісу світильників визначаємо за формулою (2.1):

Приймаємо $h_z = 2,5$ м;

Приймаємо $h_p = 1$ м.

$$H_p = 7 - (2,5 + 1) = 3,5 \text{ м.}$$

Вибираємо значення найвигіднішої відносної відстані між світильниками для кривої $D\lambda = 0,4 \dots 0,7$. Приймаємо $\lambda = 0,45$.

Визначаємо оптимальну відстань між світильниками за формулою (2.2):

$$L = 0,45 \cdot 3,5 = 1,58 \text{ м.}$$

Визначаємо кількість рядів світильників за формулою (2.3):

$$n_p = \frac{5,5}{1,58} = 3,5$$

Приймаємо $n_p = 4$.

Визначаємо відстань від крайніх світильників до стін за формулою (2.4):

$$L_c = 0,5 \cdot 1,58 = 0,79 \text{ м.}$$

Розрахункову відстань між рядами визначаємо за формулою (2.5):

$$L_B = \frac{5,5 - 2 \cdot 0,79}{3 - 1} = 1,96 \text{ м.}$$

Відстань між світильниками в одному ряду розраховуємо за формулою (2.6):

$$L_a = \frac{1,58^2}{1,96} = 1,26 \text{ м.}$$

Число світильників у кожному ряду обчислюємо за формулою (2.7):

$$n_a = \frac{8 - 2 \cdot 0,79}{1,26} = 5,08$$

Приймаємо $n_a = 5$.

Загальну кількість світильників визначаємо за формулою (2.8):

$$N = 3 \cdot 5 = 15$$

Визначаємо індекс приміщення за формулою (2.9):

$$i = \frac{8 \cdot 5,5}{3,5 \cdot (8 + 5,5)} = 0,93$$

Беремо коефіцієнти відбивання: стелі $\rho_{\text{ст}} = 50\%$; стін $\rho_{\text{с}} = 30\%$; підлоги $\rho_{\text{п}} = 10\%$.

Вибираємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,57$.

Приймаємо нормовану освітленість $E_n = 150$ лк.

Беремо коефіцієнт запасу $K = 1$.

Визначаємо розрахунковий світловий потік світильника за формулою (2.10):

$$\Phi_{p.c} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 5,5 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{15 \cdot 0,57} = 849,1 \text{ лм.}$$

Вибираємо лампу типу NSCL-9W-150S3 з $P_n = 10$ Вт, $\Phi_{л} = 850$ лм.

Визначаємо фактичну освітленість за формулою (2.11):

$$E_{\phi} = 150 \cdot \frac{850 \cdot 1}{849,1} = 150,16 \text{ лк.}$$

Визначаємо відхилення освітленості за формулою (2.12):

$$E = \frac{150,16 - 150}{150} \cdot 100 \approx 0,1 \text{ \%}.$$

Відхилення є допустимим, тому, що знаходиться у межах $+20 \dots -10 \text{ \%}$.

Розрахунок встановленої потужності освітлювальної системи проводимо за формулою (2.13):

$$P_y = 10 \cdot 1 \cdot 15 = 150 \text{ Вт.}$$

4.2 Вибір пуско-захисної апаратури освітлювальної мережі

З урахуванням вимог, викладених у розділі 2.1.3 щодо вибору пуско-захисної апаратури для освітлювальної мережі з лампами розжарювання, виконуємо розподіл освітлювальних ланцюгів на групи у вигляді таблиці.

Таблиця 4.2 - Розподіл освітлювальної електропроводки на групи

Номер та тип щитка	Номер групи	Кількість ламп	Установлена потужність ламп, кВт	Примітка
ЩО1 ЯРН 8505- 1603	1	10	0,1	Технологічне освітлення
	2	5	0,05	Технологічне освітлення
	3	-	-	Резерв

Розрахунок струмів для однофазних груп з лампами розжарювання здійснюємо за формулою (2.15):

$$I_{ep1} = \frac{0,1 \cdot 10^3}{220} = 0,45 \text{ А};$$

$$I_{ep2} = \frac{0,5 \cdot 10^3}{220} = 0,23 \text{ А};$$

Типи освітлювальних щитків вибираємо в залежності від кількості груп: ЯРН 8505-1603 – на 3 групи. Номінальні струми розчіплювачів автоматичних вимикачів вибираємо, виходячи з таких умов:

$$I_{ном.р} \geq I_{розр};$$

$$I_{у.е} \geq 1,4 \cdot I_{розр}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач для групи 1 освітлювального щитка серії АЕ1000 з $I_{ном.р} = 0,6 \text{ А}$, $I_{ном.а} = 10 \text{ А}$.

Вибираємо автоматичний вимикач для групи 2 освітлювального щитка серії АЕ1000 з $I_{ном.р} = 0,32 \text{ А}$, $I_{ном.а} = 10 \text{ А}$.

4.3 Вибір марок і перерізів проводів, кабелів та способів їх прокладання

В сільськогосподарських будівлях електропроводку здійснюють двома основними методами: відкритим — на тросах, в пластикових або сталевих трубах, а також у спеціальних каналах будівельних конструкцій, по стінах чи на стелі, та закритим — під покриттям стін або штукатуркою.

Вибір конкретного типу проводки, марки і способу прокладки кабелю визначається функціональним призначенням приміщення, його архітектурними особливостями, умовами навколишнього середовища, технічними характеристиками та режимом експлуатації електроприймачів, а також дотриманням вимог безпеки і протипожежних норм.

У даному випадку ми застосовуємо закриту проводку, що монтується під штукатуркою.

Розмір поперечного перерізу проводу для електропроводки визначаємо за формулою (2.16):

Для групи 1 освітлювального щитка вибираємо провід типу ППВ $2 \times 0,5$ у якого $I_{\text{доп}} = 11$ А.

$$11 > 0,45 \text{ А.}$$

Умова виконується. Аналогічно вибираємо даний провід для інших груп.

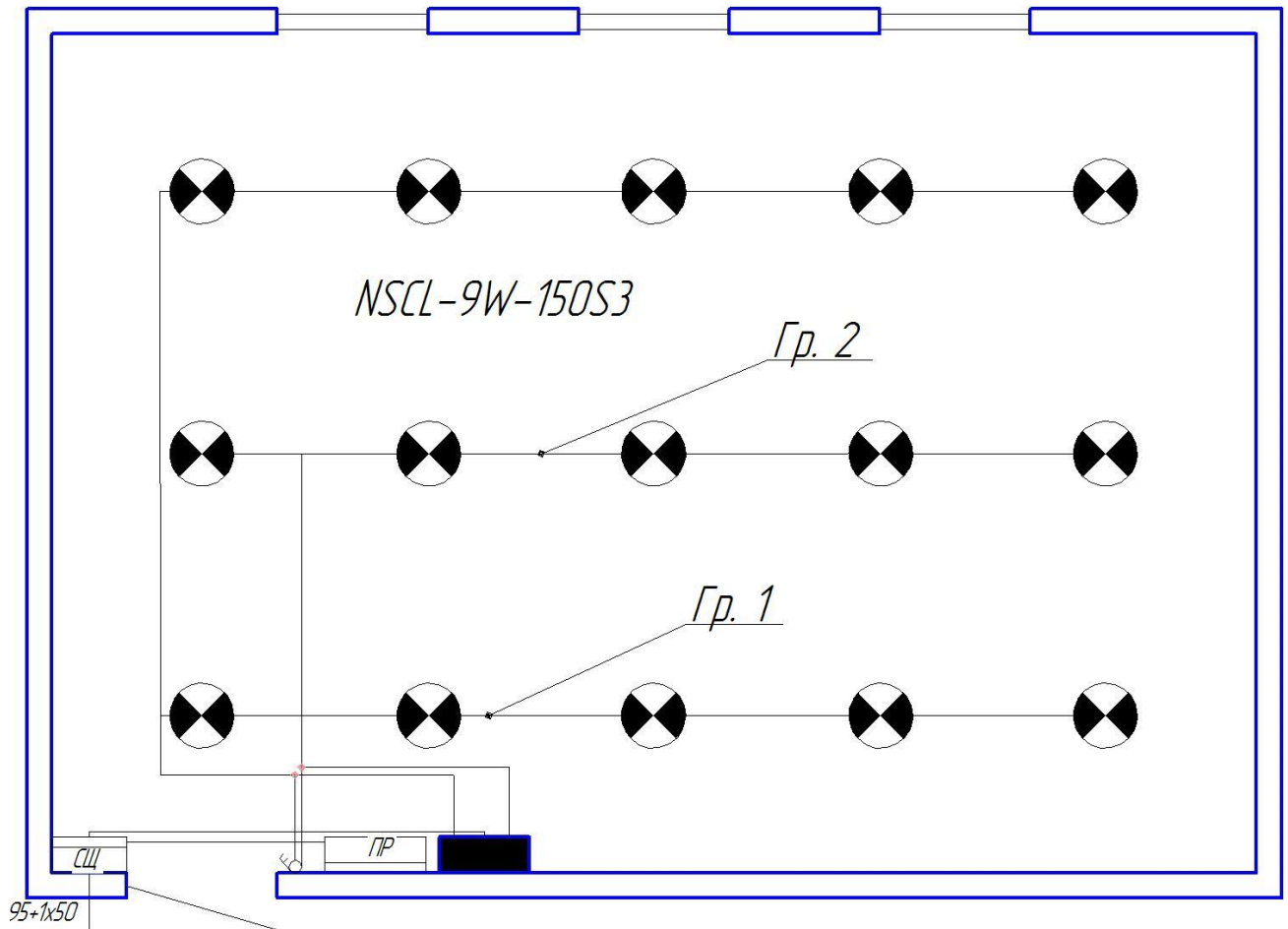


Рисунок 4.2 - Схема освітлювальної мережі з світлодіодними лампами.

Розрахунок втрати напруги проводимо за формулою (2.17):

Визначаємо втрату напруги для груп освітлювального щитка ЯРН8505-1603:

$$\Delta U_1 = \frac{0,1 \cdot 45}{12,8 \cdot 0,5} = 0,35 \text{ \%};$$

$$\Delta U_2 = \frac{0,05 \cdot 35}{12,8 \cdot 0,5} = 0,14 \text{ \%};$$

Так, як втрати напруги не перевищують допустимих 2,5% то провід залишаємо незмінним.

4.4 Складання розрахунково-монтажної схеми освітлювальної мережі

Розрахунково-монтажна схема освітлювальної мережі формується на основі обраної пуско-захисної апаратури, характеристик провідників — їх марок і перерізів, а також поділу освітлення на окремі групи.

У цій схемі відображаються типи освітлювальних щитків, нумерація та класифікація груп, типи автоматичних вимикачів із зазначенням їх номінальних струмів, довжини проводів із вказівкою марок, встановлена потужність кожної групи та обраховані втрати напруги, а також конкретні назви навантажень.

5 РОЗРАХУНОК ТА ПІДКЛЮЧЕННЯ ВОДОНАГРІВАЧА

5.1 Основні принципи розрахунку водонагрівача

Водонагрівачі відіграють важливу роль у системах гарячого водопостачання житлових та комерційних будівель. Для забезпечення їх ефективної та безпечної роботи необхідно правильно виконати монтаж, підключення та провести попередні розрахунки параметрів обладнання з урахуванням потреб споживачів і технічних вимог мережі. У цьому розділі розглянемо основні етапи розрахунку, монтажу та підключення водонагрівача.

Основні принципи розрахунку водонагрівача

Перш за все, для вибору водонагрівача потрібно визначити необхідний об'єм нагріву води. Це залежить від кількості мешканців або користувачів, кількості точок водозабору, а також режиму їх роботи. Для побутових потреб зазвичай приймають середню норму споживання гарячої води на одну людину в діапазоні 40-60 літрів на добу. Отже, об'єм водонагрівача повинен забезпечувати нагрів цієї кількості води до заданої температури за обраний час.

Далі необхідно врахувати температуру холодної води, що подається, і температуру, до якої вона має бути нагріта. Зазвичай температура холодної води складає 8-15 °С, а температура гарячої води, що подається до споживача, — 50-60 °С. Виходячи з цього, визначаються теплові втрати та потужність нагрівача.

Потужність водонагрівача можна розрахувати за формулою:

$$P = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T / t$$

де:

- P — потужність нагрівача, Вт;
- V — об'єм води, що нагрівається, м³;
- ρ — густина води (приблизно 1000 кг/м³);
- c — питома теплоємність води (4,18 кДж/кг·°С);
- ΔT — різниця температур (°С);
- t — час нагрівання (с).

Цей розрахунок дозволяє визначити мінімальну електричну потужність, необхідну для нагріву заданого об'єму води до потрібної температури за встановлений проміжок часу.

Монтаж водонагрівача

Перед початком монтажу необхідно підготувати місце встановлення: воно повинно бути сухим, достатньо просторий і мати доступ до системи холодного водопостачання, а також до електричної мережі відповідної потужності. Для забезпечення безпеки та зручності експлуатації монтаж виконують відповідно до інструкцій виробника.

Водонагрівач можна встановити вертикально або горизонтально, залежно від конструкції та наявного простору. Для цього зазвичай використовують спеціальні кронштейни, які кріплять до стіни, або ставлять прилади на рівну тверду поверхню.

Підключення до системи водопостачання включає встановлення запірної арматури (кранів), зворотних клапанів для запобігання зворотного потоку, а також пристроїв для скидання надлишкового тиску, які є обов'язковими для запобігання аваріям.

Підключення водонагрівача до електричної мережі

Важливою частиною монтажу є правильне підключення водонагрівача до електромережі. Оскільки потужність водонагрівачів може коливатись від 1,5 до 3 кВт і більше, для їх живлення рекомендується виділена лінія з автоматичним вимикачем відповідного номіналу та пристроєм захисного відключення (ПЗВ). Це забезпечує безпеку при виникненні коротких замикань або витoku струму.

Підключення зазвичай здійснюють через трижильний кабель, де одна жила призначена для заземлення корпусу водонагрівача. Це мінімізує ризик ураження електрострумом під час експлуатації.

Перед підключенням слід перевірити, щоб напруга в мережі відповідала технічним характеристикам водонагрівача, а також переконатися у відсутності механічних пошкоджень кабелю та елементів підключення.

Технічні вимоги та рекомендації

При виборі водонагрівача важливо звертати увагу не тільки на потужність і об'єм, а й на тип нагрівального елемента — ТЕН (трубчастий електронагрівач), його матеріал, а також систему управління температурою. Більш досконалі

моделі оснащені терморегуляторами і датчиками безпеки, які запобігають перегріву.

Крім того, для підвищення енергоефективності рекомендується обирати водонагрівачі з хорошою теплоізоляцією корпусу. Це дозволить мінімізувати теплові втрати і знизити витрати електроенергії.

Правильний розрахунок, монтаж і підключення водонагрівача є ключовими факторами для забезпечення надійної та ефективної роботи системи гарячого водопостачання. З урахуванням технічних вимог, безпеки та потреб користувачів, можна вибрати оптимальне обладнання, що забезпечить комфорт і економію ресурсів.

5.2 Монтаж водонагрівача

Електродні водонагрівачі типу ЕПЗ призначені для нагрівання води в системах опалення та гарячого водопостачання приміщень сільськогосподарського призначення, а також житлових і громадських будівлях. Для застосування в системах гарячого водопостачання ці водонагрівачі використовують лише в поєднанні з теплообмінником, що входить до складу первинного замкненого контуру, з якого у вторинному контурі забирається нагріта вода.

Такий спосіб роботи дозволяє значно простіше підтримувати стабільне значення електричного опору води, а також ефективніше протидіяти корозії та утворенню накипу.

На рисунку представлена конструкція моделі, що складається із циліндричного зварного резервуару (позначеного як 2), фазних та п'яти регулюючих електродів, а також кількох електроізоляційних екранів (4, 18, 21). Для захисту конструкції передбачені боковий (3) та верхній (13) кожухи, а також щит керування. До корпусу зварено два патрубки: нижній (20) призначений для підведення відпрацьованої води, а верхній — для відведення нагрітої. На верхньому патрубку (15) розміщується знімний елемент з гніздами, в який

встановлюють запобіжний пристрій, а також регулюючий і захисний температурні датчики.

На плоскій верхній кришці встановлена електродна група, що складається з трьох двопластинчастих фазних електродів (6) та трьох одно пластинчастих регулюючих електродів (5). Пластини мають форму вигнутих дуг, що утворюють концентричні кола. Регулюючі електроди закріплені на ізоляційних траверсах (19), які міцно зафіксовані на поворотній осі (17). Внутрішню поверхню корпусу відокремлено від електродної групи ізоляційними пропіленовими екранами (4 і 21). Усередині електродної групи розташований додатковий електроізоляційний екран (18), радіальні пластини якого разом із іншими утворюють три сектори внутрішнього простору водонагрівача.

Регулювання потужності здійснюється за допомогою ручки (9), яка переміщує регулюючі електроди у горизонтальній площині, змінюючи кут їх нахилу від 0 до 60 градусів.

Конструкція цієї електродної системи забезпечує генерацію тепла в опорах, які можна представити у вигляді еквівалентної трикутної схеми.

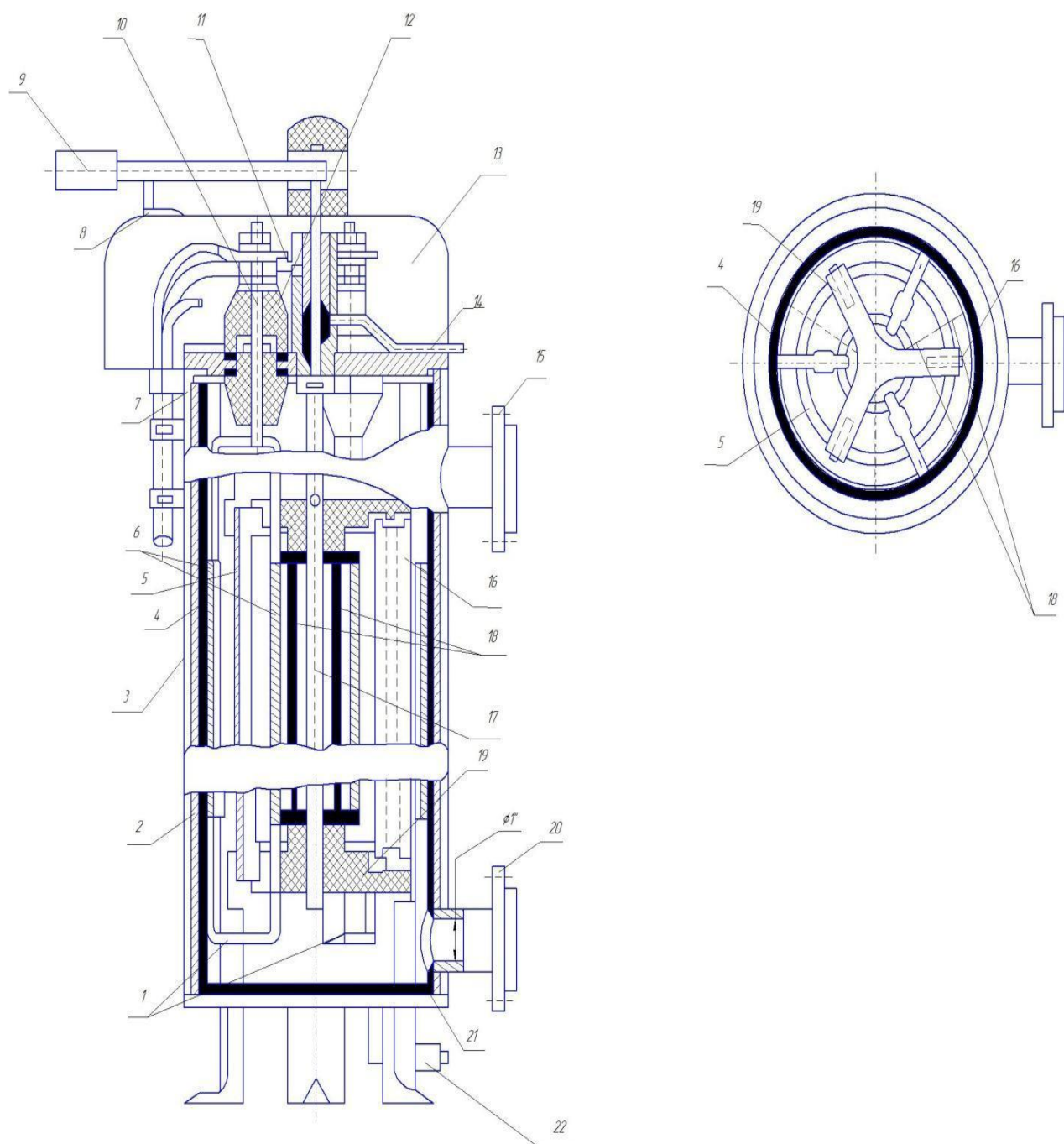


Рисунок 5.1 - Электродный водонагреватель ЭПЗ-100: 1-скоба; 2-сосуд; 3 и 13-кожухи; 4, 18 и 21-экраны; 5 и 6-регулирующий и фазный электроды; 7-крышка; 8-шкала регулирования мощности; 9-ручка; 10-шпилька; 11-шина; 12-изолятор; 14-сливная рубка; 15, 20 и 22-выходный, входный и сливной патрубки; 16-пластина; 17-ось; 19-траверса.

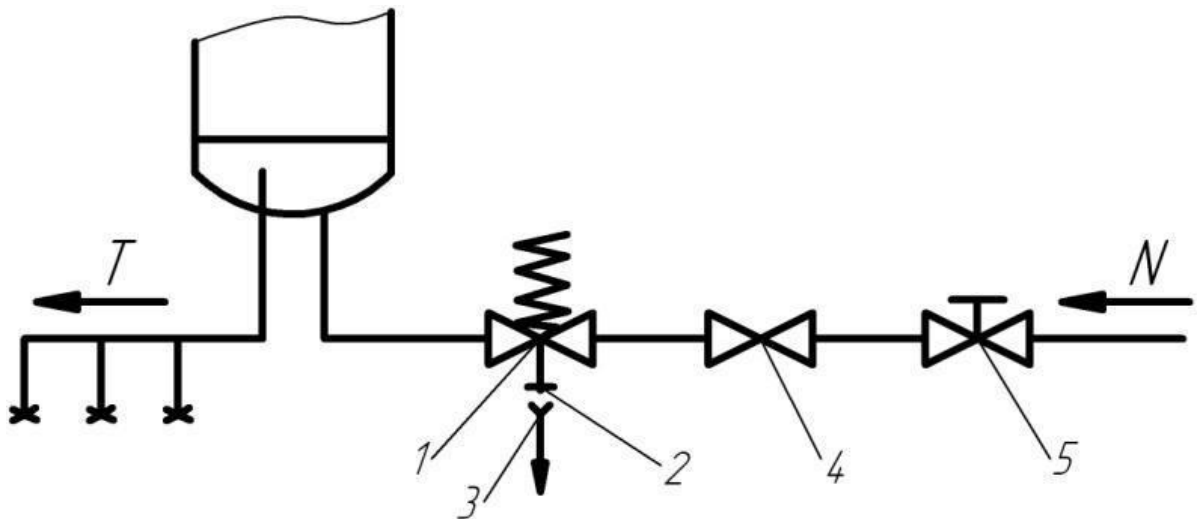


Рисунок 5.2 - Схема підключення водонагрівача до системи водопостачання: 1)- зворотньо-запобіжний клапан; 2)-тестовий патрубок; 3)-дренажна трубка; 4)-редукційний клапан; 5)-вентиль.

Якщо існуюча трубопровідна система не має можливості відвести воду, що витікає із запобіжного клапана, у каналізацію, рекомендується встановити на входній трубі водонагрівача розширювальний бак об'ємом близько 3 літрів. Для підтримки справності системи необхідно раз на два тижні перевіряти роботу зворотного клапана, відкриваючи його вихід шляхом повороту важеля або гайки — залежно від конструкції. Нормальна робота клапана підтверджується появою води з вихідного отвору при відкритті.

Важливо не встановлювати між водонагрівачем і запобіжним клапаном додатковий зворотний клапан, оскільки це перешкоджатиме нормальному функціонуванню захисного механізму.

Підключення водонагрівача до домашньої водопровідної системи допускається без редукційного клапана лише в тому випадку, якщо тиск у мережі не перевищує 0,5 МПа. Перед початком електричного підключення водонагрівач необхідно повністю заповнити водою. Для цього слід відкрити кран гарячої води на змішувачі, і як тільки апарат буде заповнений, з крана почне текти вода.

5.3 Підключення водонагрівача до електричної мережі

Перед тим як підключати водонагрівач до електромережі, слід попередньо зняти захисну кришку пристрою, щоб отримати доступ до місця

підключення електричного кабелю. Після цього акуратно приєднують кабель відповідно до технічних вимог і схемою підключення, забезпечуючи надійний контакт і дотримуючись правил безпеки.

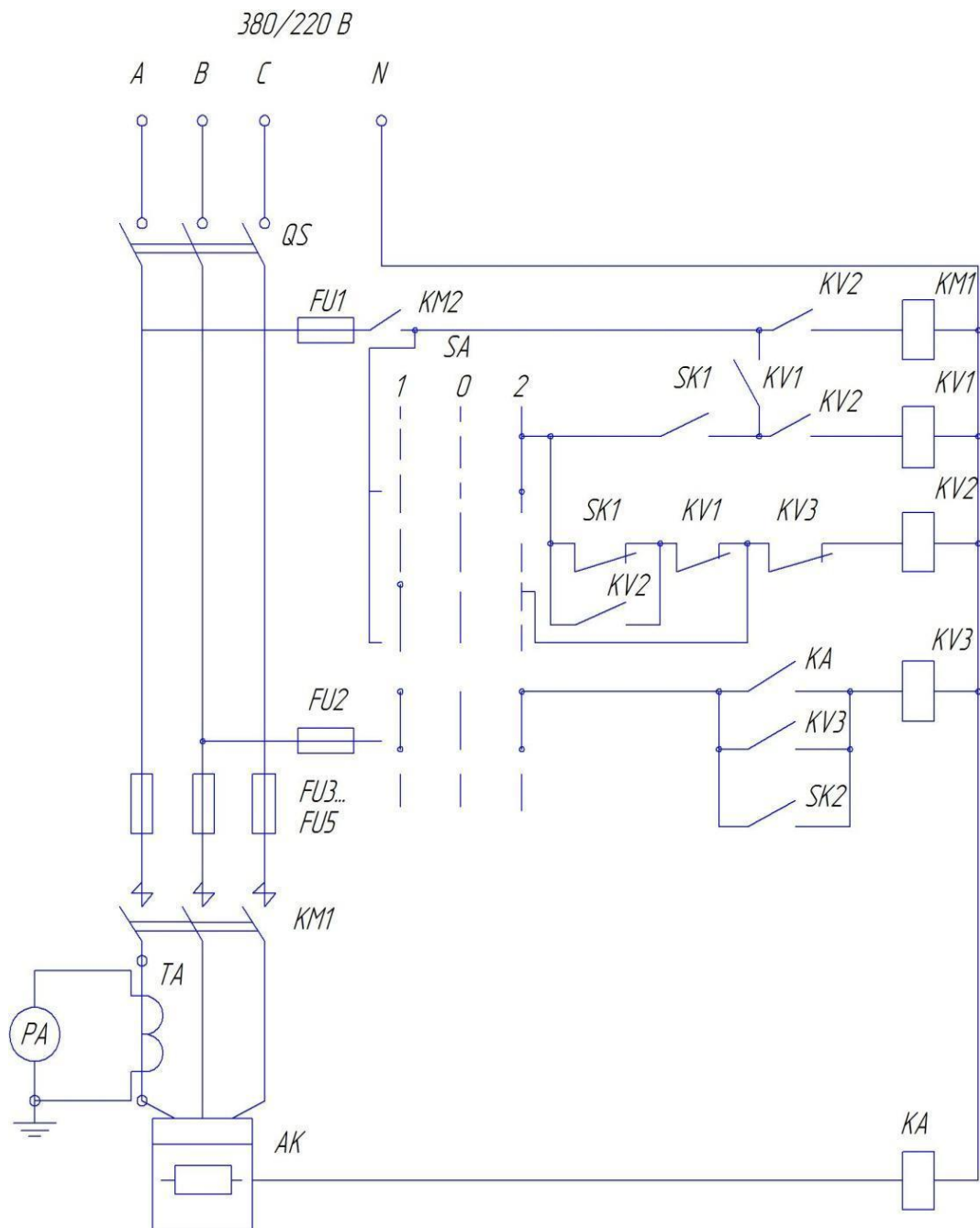


Рисунок 5.3 - Принципова електрична схема керування водонагрівачем ЕПЗ-100: QS - рубильник; FU1...FU5 - запобіжники; SA - універсальний перемикач; KM1 – лінійний контактор; KV1...KV3 - проміжні реле; KA – реле максимального струму; TA – трансформатор струму; PA – амперметр; SK1 - манометричний регулюючий термометр; SK2 - манометричний аварійний термометр; KM2 – блок-контакти магнітного пускача двигуна насоса.

Принципова електрична схема керування водонагрівачем ЕПЗ-100, зображена на рисунку 5.3, забезпечує комплекс функцій для безпечної та ефективної роботи пристрою. Вона передбачає можливість роботи в ручному та автоматичному режимах, що дозволяє підтримувати задану температуру води без постійного втручання оператора. Крім того, система містить захист від перевищення допустимої температури води, автоматично відключаючи нагрівач у разі перегріву, що запобігає пошкодженню обладнання. Для підвищення безпеки передбачено захист від струму витоку: при виявленні струму витоку в нульовому проводі, який досягає 25% фазного струму, пристрій негайно вимикається, мінімізуючи ризик ураження електричним струмом. Також у схемі реалізовано захист силових і допоміжних кіл від коротких замикань, що гарантує надійну роботу і запобігає аварійним ситуаціям в електричній мережі водонагрівача.

5.4 Розрахунок часу нагріву води

Щоб розрахувати час нагрівання води, насамперед потрібно з'ясувати основні конструктивні параметри нагрівального бака та провести теплотехнічні обчислення. Спочатку визначаємо обсяг бака на основі його геометричних розмірів — висоти, діаметра та форми корпусу. Далі розраховуємо кількість тепла, яке передається від пари до води, враховуючи теплопередачу через стінки бака та ефективність нагрівального елемента. Ці дані дають змогу оцінити, скільки енергії потрібно для підняття температури заданого об'єму води до потрібного рівня. На основі отриманих теплотехнічних показників і кількості переданої теплоти визначаємо час, необхідний для нагріву води до заданої температури, що дозволяє коректно спроектувати режим роботи водонагрівача.

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad \text{м}^3$$

де, d і h відповідно діаметр та висота бака для нагріву води.

$$V = 3,14 \cdot \frac{0,6^2}{4} \cdot 1,3 = 0,367 = 367 \text{ л}$$

Приймаємо, що в проєкті використовується стандартний нагрівальний бак об'ємом 350 літрів. Відповідно до санітарних норм для житлових будинків, мінімальна температура гарячої води для загального користування повинна бути не нижчою за 50°C. Для розрахунку часу нагріву води необхідно спочатку визначити дві ключові величини: кількість теплоти, яку виділяє паливо під час горіння, та кількість теплоти, потрібну для підняття температури заданого об'єму води до мінімально встановленого значення.

Далі, для розуміння енергетичного балансу, розглянемо кількість теплоти, що виділяється при охолодженні повітря після першої ступені стиску у компресорі. З довідкових даних відомо, що температура повітря на виході з першої ступені компресора становить 60°C. Цей показник важливий для подальших розрахунків ефективності процесу нагріву, оскільки охолоджене повітря може використовуватися для підвищення теплової потужності системи або для інших технічних цілей.

Обчислення теплоти, яка необхідна для нагріву води, базується на формулі:

$$Q = mC\Delta t.$$

$$Q = 28,56 \cdot 1.32(60 - 18) = 1583 \text{ Дж} / \text{год}$$

Щоб розрахувати нагрів води об'ємом $V=100\text{V} = 100\text{V}=100 \text{ л}$ (відповідно до формули (3.8)), необхідно знайти коефіцієнт теплопередачі крізь стінки труби. Цей показник визначається на основі рівняння, яке описує процес теплопередачі через тверде середовище:

$$Q = kF\Delta t, \text{ кДж} / \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$$

де k – коефіцієнт теплопередачі стінки, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

F – площа стінок бака, м^2 ;

Δt – різниця температури між гріючим і нагріваним середовищем, $^\circ\text{C}$.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі повітря до внутрішньої стінки труби, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої стінки труби до води, Вт/м² °К;

δ – товщина шару стінки труби, м.;

λ – коефіцієнт теплопровідності стінки труби, Вт/м² °К;

Коефіцієнт теплопровідності α_1 і α_2 можна прийняти рівними

$$\alpha_1 = 15 \text{ Вт/м}^2 \text{ °К}, \alpha_2 = 6 \text{ Вт/м}^2 \text{ °К};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0.006}{9.4} + \frac{1}{6}} = 1587 \text{ Вт/м}^2 \text{ °К}$$

Визначимо площу стінок труби:

$$F = \pi d \cdot l \text{ м}^2;$$

$$F = 3,14 \cdot 0,0225 \cdot 4,2 = 0,3 \text{ м}^2.$$

$$Q = 1587 \cdot 0,3 \cdot 4,2 = 19,78 \text{ кДж}.$$

Визначаємо кількість теплоти необхідної для нагріву заданого об'єму води:

$$Q_{\text{в}} = m \cdot C(t_{\text{газ}} - t_{\text{вод}}), \text{ кДж}.$$

де m – маса води ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$);

C – теплоємність води, кДж/кг·°С;

$T_{\text{газ}}$ – температура пари, °С;

$t_{\text{вод}}$ – температура води в баці, °С.

$$Q = 350 \cdot 1,31(180 - 18) = 74.277 \text{ кДж}.$$

Визначаємо кількість пари необхідну для нагріву води в баці:

$$m = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{к.в}}}, \text{ кг}.$$

$$m = \frac{395,8}{55,02} = 7,193$$

Визначимо час нагріву води:

$$t = \frac{Q_{\text{в}}}{mC(t_{\text{газ}} - t_{\text{нов}})}, \text{ с};$$

$$t = \frac{395}{350 \cdot 1,31(180 - 18)} = 53,2 \text{ хв};$$

Отже при розрахунку часу нагріву води ми визначили, що вона нагріється за 53,2 хв.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ

6.1 Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій на виробництві

У зображеннях процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події (явища), що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. В них є початкові, проміжні та кінцеві події.

Якщо на схемах, що зображують процеси протікання (перебігу) випадкових подій, починаючи з початкових і закінчуючи кінцевими, показати причинно-наслідкові зв'язки, то ми одержимо логічні моделі процесів, що вивчаються.

Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистично залежними або незалежними. Статистично залежні події — це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, можуть з'являтися незалежно одна від одної, то такі події є статистично незалежними. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні — послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу) подій.

Шляхом дослідження небезпечних ситуацій, які можуть виникати при експлуатації виробничого обладнання в галузях сільського господарства, описані і побудовані логічні моделі різні за формою і характером подій. Це дало можливість перейти до побудови більш складних моделей аварій, травм і катастроф, які потрібні для встановлення причин виникнення потенційних небезпек, без чого неможливо вжити обґрунтованих профілактичних заходів.

Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності виробництва, яка базується на оперативному пошуку

виробничих небезпек, їх глибокому логічному (при необхідності і математичному) аналізі й терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій.

6.2 Пожежна безпека

Керівники підприємств несуть відповідальність за пожежну безпеку приміщень та обладнання теплових установок і теплових мереж, а також за наявність та справний стан первинних засобів пожежогасіння.

Облаштування та експлуатація тепловикористовуючих установок і теплових мереж повинні відповідати вимогам правил пожежної безпеки. Усі споруди та устаткування повинні бути обладнані мережею протипожежного водопостачання, засобами виявлення та гасіння пожежі відповідно до вимог НД.

Персонал повинен виконувати вимоги інструкцій з пожежної безпеки та встановлений на підприємстві протипожежний режим експлуатації теплових установок і теплових мереж, не допускати особисто та зупиняти дії інших осіб, які можуть призвести до займання та пожежі.

Персонал, який обслуговує теплові установки і теплові мережі проходить протипожежний інструктаж, заняття з пожежотехнічного мінімуму, участь у протипожежних тренуваннях.

Враховуючи особливості експлуатації теплових установок і теплових мереж, на підприємстві встановлюється протипожежний режим та впроваджуються протипожежні заходи, які забезпечують безпечну експлуатацію, а також опрацьовується оперативний план пожежогасіння.

Зварювальні та інші вогненебезпечні роботи, в тому числі ремонтні, монтажні та інші, які здійснюються підрядними організаціями, повинні виконуватися згідно з вимогами правил пожежної безпеки та з врахуванням особливостей пожежної безпеки теплових установок і теплових мереж.

7 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В даному розділі ставимо за мету порівняти ціни на експлуатацію ламп які були використанні в даній роботі.

Таблиця 7.1 - Типи ламп та їхні ціни при відповідних потужностях

Тип лампи	Модель лампи	Потужність, Вт	Кількість, штук	Термін служби, год	Ціна, грн/од.
Жарівки	B220-200	200	10	1000	38
КЛЛ	TornadoHighLumen 220-240V	42	6	10000	230
Світлодіодні	Ecorn Downlight	12	15	25000	110

Для спрощення розрахунків та більшої наочності розрахуємо експлуатаційні затрати ламп для 50000год.

Розрахунок витрат на електроенергію

$$Q = \sum (P \cdot 10^{-3} \cdot K) \cdot S \cdot E, \text{грн.} \quad (7.1)$$

де P – потужність лампи (табл.6.1), Вт;

E – ціна 1кВт/год. електроенергії 9 грн..

Для ламп розжарення:

$$Q = 200 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 50000 \cdot 9 = 900000 \text{грн.}$$

Для компактно люмінесцентних ламп:

$$Q = 42 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 50000 \cdot 9 = 113400 \text{грн.}$$

Для світлодіодних ламп:

$$Q = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 50000 \cdot 9 = 202500 \text{грн.}$$

Розрахунок витрат на купівлю ламп

Розрахуємо ціну придбання ламп які будуть використанні протягом 50000 годин:

$$C = \frac{\sum (K \cdot M) \cdot S}{T}, \text{ грн} \quad (7.2)$$

де K – кількість ламп (табл.6.1), шт.;

M – ціна за одиницю лампи (табл.6.1), грн.;

S– термін використання (50000), год;

T– тривалий термін служби (табл.6.1), год.

Для ламп розжарення:

$$C = \frac{10 \cdot 38 \cdot 50000}{1000} = 19000 \text{ грн.}$$

Для компактно люмінесцентних ламп:

$$C = \frac{6 \cdot 230 \cdot 50000}{10000} = 6900 \text{ грн.}$$

Для світлодіодних ламп:

$$C = \frac{15 \cdot 110 \cdot 25000}{50000} = 4125 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на лампи

$$Z = C + Q, \text{ грн.} \quad (7.3)$$

Для ламп розжарення:

$$Z = 900000 + 19000 = 919000 \text{ грн.}$$

Для КЛЛ:

$$Z = 113400 + 6900 = 120300 \text{ грн.}$$

Для світлодіодних ламп:

$$Z = 202500 + 4125 = 206625 \text{ грн.}$$

Для порівняння проведених розрахунків заносимо результати в табл. 7.2

Таблиця 7.2 - Економічна оцінка

	Лампи розжарення	КЛЛ	Світлодіодні Лампи
Кількість, шт.	10	6	15
Потужність, кВт	2	0.252	0.180
Вартість, грн.	19000	6900	4125
Термін служби, год	1000	10000	25000
Витрати на експлуатацію протягом 50000 год, грн	900000	113400	202500
Загальні витрати	919000	120300	206625
Економічний ефект, грн	-	805600	716500

ВИСНОВКИ

У цій роботі було проведено розрахунок силової схеми кузні, розташованої у павільйоні механізації, а також виконано аналіз освітлення з використанням різних типів ламп: ламп розжарювання, компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) та світлодіодних ламп. Після розрахунку силової мережі для обладнання були підібрані відповідні кабелі та пуско-захисна апаратура.

Результати розрахунку освітлювальної мережі дозволили оцінити доцільність застосування різних видів ламп. Як видно з розділу 7, витрати на експлуатацію КЛЛ виявилися найнижчими — 120 300 грн за 50 000 годин, у той час як для ламп розжарювання вони складають 919 000 грн, а для світлодіодних ламп — 206 625 грн. Економічний ефект від використання світлодіодних ламп становить 716 500 грн, а КЛЛ — 805 600 грн.

Беручи до уваги, що КЛЛ споживають на 75% менше електроенергії порівняно з лампами розжарювання, мають термін служби приблизно у 10 разів більший, випромінюють світло аналогічної якості та мають вищий коефіцієнт корисної дії, рекомендуємо для освітлення цієї майстерні застосовувати саме компактні люмінесцентні лампи.

Список джерел посилання

1. Алексєєв Б.А. Міжнародна конференція по вітроенергетиці / Електричні станції. 1996. №2.
2. Безруких П.П. Економічні проблеми нетрадиційної енергетики / Енергія: Екон., техн., екол. 1995. №8.
3. Богуславский Е.И., Виссарионов В.И., Елистратов В.В., Кузнецов М.В. Умови ефективності і комплексного використання геотермальної сонячної і вітрової енергії // Міжнародний симпозіум "Паливно-енергетичні ресурси ". Київ, 1995.
4. Дьяков А.Ф., Прокурорів Н.С., Перминов Е.М. Калмицька досвідчена вітрова електростанція / Електричні станції 1995. № 2.
5. Логинов В.Б. Новак Ю.И. Високоєфективні вітроенергетичні установки / Проблеми машинобудування й автоматизації. 1995. №1-8.
6. Селезньов И.С. Стан і перспективи робіт МКБ "Веселка" в області вітроенергетики / Конверсія в машинобудуванні. 1995. №5.
7. Соболев Я.Г. "Вітроенергетика" в умовах ринку (1992-1995 р.) / Енергія: Екон., техн. екол. 1995. №11.
8. Ципльонков П. С. Організація і планування електрифікації сільськогосподарського виробництва / П. С. Ципльонков. – К. : Вища школа 1980. – 544 с.
9. Романюк Ю. В. Електричні системи та мережі : навч. посіб. / Ю. В. Романюк. – Івано-Франківськ : Факел, 1997. – 248 с.
10. Саенко, Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання і нелінійним навантаженням / Ю. Л. Саенко// Автореф. дис. на здобуття наук, ступеня д-ра техн. наук, спец. 05.09.05 - теоретична електротехніка, НУ «Львівська політехніка», Львів, 2003.– 36 с.
11. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник / М. С. Сегеда. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007.– 488 с
12. Костін, М. О. Миттєва реактивна потужність у системах електричного

- транспорту постійною струму / М. О. Костін, О. І. Саблін, О. Г. Шейкіна, А. В. Петров // Гірнича електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб., 2007. – С. 3-8.
13. Щербина О. Енергія для всіх : технічний довідник / О. Щербина – Ужгород, вид-во В. Падяка, 2000. – 200 с.
14. Якимець В. Т. Методичні рекомендації до дипломного проектування для студентів напрямку підготовки “Енергетика та електротехнічні системи в АПК” ОКР ”Бакалавр” / В. Т. Якимець, С. В. Сиротюк. – Львів: Львівський НАУ, 2009. – 40 с.
15. Добровольська Л. Н. Про стан автоматизації компенсувальних установок і перспективи їх оснащення пристроями нового технічного рівня / Л. Н. Добровольська, І. О. Віт, І. П. Сосенко // Промелектро : Пром. електроенергетика та електротехніка. – 2008. – № 4. – С. 26 – 30.