

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувача кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій**

ДОЦ., К.Т.Н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання і ступінь підпис
” ” 2026 р.
число місяць рік

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ З РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ В МАЙСТЕРНІ З РЕМОНТУ МОБІЛЬНОЇ
ТЕХНІКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА З
ВСТАНОВЛЕННЯМ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ»**

Спеціальність 141 „Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

Синявський О.Ю.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

Сорокін Д.С.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Кузьменко А.О.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій**

доцент, к.т.н. /ОКУШКО О.В./ вчене
звання і ступінь підпис

”_____” 2025р.
число місяць рік

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи студенту

Кузьменку Андрію Олександровичу

Спеціальність: 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: «Проектні рішення з розроблення системи електроспоживання в майстерні з ремонту мобільної техніки сільськогосподарського підприємства з встановленням світлодіодного освітлення.».

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» жовтня 2025 р. № 2607 „С”.

Термін подання завершеного проєкту на кафедру 2026.06.01
(рік, місяць, число)

Вихідні дані:

1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
 2. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
 3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.
 4. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
 5. Правила роздрібного ринку електричної енергії.
 6. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
 7. ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення».
 8. Технічні характеристики електрообладнання майстерні та світлодіодних світильників.
 9. План виробничого приміщення майстерні з ремонту мобільної техніки.
- Перелік питань, які потрібно розробити:
1. Загальна характеристика підприємства та оцінка рівня експлуатації електрообладнання.
 2. Електротехнічна частина проєкту.
 3. Заходи щодо економії електроенергії при обслуговуванні і ремонті енергетичного обладнання.
 4. Охорона праці.

Перелік графічних документів:

1. План майстерні з розміщенням світлодіодних світильників.
2. Однолінійна схема ГРЩ та ЩО

Дата видачі завдання 31.10.2025 р.

Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Сорокін Д.С.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Кузьменко А.О.

(ПІБ)

№ Р я д к а	Фор мат	Позначення	Найменування	К- сть арку шів	№ Прим ітки	При мітка
1	A4	02.02-КР.2607«С».2025.10.30.011.ПЗ	Пояснювальна записка	78		
2	A3	02.02-КР.2607«С».2025.10.30.011.С	Схема електропостачання	1		
3	A3	02.02-КР.2607«С».2025.10.30.011.С	Однолінійна схема ГРІЩ та ЩО	1		

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	02.02.КР.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ				5

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ МАЙСТЕРНІ РЕМОНТУ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	11
1.1 Характеристика виробничого об'єкта та умов експлуатації електрообладнання.....	11
1.2 Аналіз технологічного обладнання майстерні та його електричних навантажень	13
1.3 Класифікація електроспоживачів ремонтної майстерні	15
1.4 Особливості використання світлодіодних систем освітлення у виробничих об'єктах	18
1.5 Постановка задачі проєктування системи електроспоживання	20
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	22
2.1 Визначення встановленої потужності електроспоживачів майстерні.....	22
2.2 Розрахунок коефіцієнтів попиту та використання електричної енергії	24
2.3 Розрахунок максимальних електричних навантажень	25
2.4 Розрахунок освітлювального навантаження світлодіодної системи освітлення.....	27
2.5 Розрахунок струмів навантаження електричної мережі	28
2.6 Розрахунок перерізу кабелів та провідників	30
2.7 Розрахунок втрат електричної енергії в електричній мережі	31
Висновки до розділу 2	33
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ.....	35
3.1 Розробка структури системи електропостачання	35
3.2 Вибір джерела електроживлення.....	37
3.3 Вибір трансформаторного обладнання	39

3.4 Вибір комутаційної та захисної апаратури.....	40
3.5 Розробка схеми розподілу електроенергії	42
3.6 Проектування системи світлодіодного освітлення виробничого приміщення	43
Висновки до розділу 3	46
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ	48
4.1 Аналіз енергоефективності систем електроспоживання	48
4.2 Використання світлодіодного освітлення у виробничих приміщеннях	50
4.3 Порівняння традиційних та світлодіодних джерел освітлення.....	53
4.4 Розрахунок економії електричної енергії від впровадження LED-освітлення	54
4.5 Техніко-економічне обґрунтування запропонованих проєктних рішень.....	56
Висновки до розділу 4	58
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ	60
5.1 Аналіз умов праці та небезпечних факторів у ремонтній майстерні.....	60
5.2 Електробезпека під час експлуатації системи електроспоживання.....	62
5.3 Безпека експлуатації технологічного обладнання та світлодіодної системи освітлення.....	64
5.4 Пожежна безпека системи електроспоживання ремонтної майстерні	65
5.5 Організаційно-технічні заходи охорони праці та контроль стану електроустановок	67
Висновки до розділу 5	69
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

ВСТУП

Ремонтні майстерні, що використовуються для обслуговування мобільної техніки сільськогосподарських підприємств, належать до виробничих об'єктів із значним рівнем електричних навантажень. У таких приміщеннях експлуатується різноманітне технологічне обладнання, до якого належать електричні верстати, зварювальні установки, компресори, діагностичні стенди, зарядні пристрої та допоміжне електротехнічне обладнання. Ефективна робота зазначених установок потребує надійної системи електроспоживання, здатної забезпечувати стабільні параметри електричної енергії та безпечні умови експлуатації обладнання.

Система електроспоживання ремонтної майстерні включає комплекс електротехнічних елементів, серед яких джерела живлення, ввідно-розподільчі пристрої, розподільчі щити, кабельні лінії, апарати захисту та керування, а також системи освітлення виробничих приміщень. Рациональне проектування такої системи передбачає визначення електричних навантажень технологічного обладнання, класифікацію електроспоживачів за категоріями надійності електропостачання, вибір електричних мереж та апаратури захисту, а також забезпечення енергоефективного освітлення виробничих зон.

Особливе значення у виробничих приміщеннях ремонтних майстерень має система освітлення, оскільки від її параметрів безпосередньо залежать умови праці персоналу, якість виконання ремонтних робіт та безпека виробничих процесів. Традиційні системи освітлення, що базуються на використанні люмінесцентних або ламп розжарювання, характеризуються підвищеним енергоспоживанням та обмеженим ресурсом роботи. У зв'язку з цим доцільним є впровадження світлодіодних систем освітлення, які забезпечують високу світлову ефективність, стабільність світлового потоку та значно менше споживання електричної енергії.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення енергоефективності електроспоживання виробничих об'єктів

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сільськогосподарських підприємств шляхом удосконалення систем електропостачання ремонтних майстерень та впровадження сучасних світлодіодних освітлювальних систем. Рациональне проектування електричних мереж та вибір енергоефективного обладнання дозволяє зменшити втрати електричної енергії, підвищити надійність електропостачання та створити безпечні умови праці у виробничих приміщеннях.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення проєктних рішень системи електроспоживання ремонтної майстерні з ремонту мобільної техніки сільськогосподарського підприємства з використанням світлодіодного освітлення, що забезпечує підвищення енергоефективності електроустановки та раціональне використання електричної енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- виконати аналіз характеристик виробничого об'єкта та умов експлуатації електрообладнання ремонтної майстерні;
- дослідити склад технологічного обладнання майстерні та визначити його електричні навантаження;
- здійснити класифікацію електроспоживачів ремонтної майстерні за режимами роботи та категоріями надійності електропостачання;
- провести аналіз існуючих систем освітлення виробничих приміщень та оцінити їх енергоефективність;
- дослідити особливості застосування світлодіодних систем освітлення у виробничих об'єктах;
- розробити структурну схему системи електроспоживання ремонтної майстерні;
- обґрунтувати вибір електротехнічного обладнання та освітлювальних приладів;
- виконати розрахунок електричних навантажень і параметрів електричних мереж майстерні;
- оцінити енергоефективність запропонованих технічних рішень;

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– розробити заходи з охорони праці та електробезпеки під час експлуатації електроустановок ремонтної майстерні.

Об’єктом дослідження є система електроспоживання ремонтної майстерні з ремонту мобільної техніки сільськогосподарського підприємства.

Предметом дослідження є технічні рішення щодо проєктування систем електроспоживання та використання світлодіодних освітлювальних систем у виробничих приміщеннях.

Практична значущість роботи полягає у розробленні проєктних рішень системи електроспоживання ремонтної майстерні з використанням енергоефективного електротехнічного обладнання та світлодіодного освітлення, що дозволяє зменшити споживання електричної енергії, підвищити надійність електропостачання технологічного обладнання та покращити умови праці персоналу виробничого об’єкта.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ МАЙСТЕРНІ РЕМОНТУ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Характеристика виробничого об'єкта та умов експлуатації електрообладнання

Об'єктом дослідження у кваліфікаційній роботі є ремонтна майстерня мобільної техніки сільськогосподарського підприємства ПрАТ «Миронівський хлібопродукт» (МХП), виробничі підрозділи якого функціонують на території Черкаської області. Підприємство належить до великих агропромислових виробників України та характеризується значним рівнем механізації виробничих процесів, що обумовлює необхідність постійного технічного обслуговування та ремонту мобільної сільськогосподарської техніки.

Ремонтна майстерня призначена для проведення регламентного технічного обслуговування, діагностики та ремонту тракторів, комбайнів, транспортних засобів і допоміжних агрегатів машинно-тракторного парку підприємства. Основними видами робіт, що виконуються у майстерні, є слюсарно-механічні, зварювальні, монтажні, електротехнічні та діагностичні операції. Виробничий об'єкт включає ремонтний зал, зону обслуговування техніки, діагностичну дільницю, склад запасних частин та допоміжні службово-побутові приміщення.

Електропостачання ремонтної майстерні здійснюється від трифазної електричної мережі змінного струму напругою 380/220 В частотою 50 Гц через ввідно-розподільчий пристрій (ВРУ). Внутрішня система електроспоживання складається з розподільчих щитів, силових кабельних ліній, апаратів комутації та захисту, а також систем освітлення виробничих приміщень. Розподіл електричної енергії між споживачами здійснюється через групові силові щити, що забезпечують живлення окремих технологічних дільниць.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Основними електроспоживачами ремонтної майстерні є технологічне обладнання, до складу якого входять металорізальні верстати, електрозварювальні установки, компресорні агрегати, підйомно-транспортні механізми, стенди технічної діагностики та зарядні пристрої для акумуляторних батарей. Значну частину електричного навантаження формує також система освітлення виробничих приміщень, яка повинна забезпечувати нормативні значення освітленості робочих зон відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Умови експлуатації електрообладнання ремонтної майстерні характеризуються впливом виробничих факторів, серед яких підвищена запиленість повітря, наявність вологи, механічні вібрації від роботи технологічного обладнання та можливість механічних пошкоджень електричних мереж. У зв'язку з цим електротехнічне обладнання повинно мати відповідний ступінь захисту оболонки (не нижче IP44–IP54) та забезпечувати безпечну експлуатацію в умовах виробничого середовища.

Важливим елементом електротехнічної інфраструктури виробничого об'єкта є система освітлення ремонтного залу та допоміжних приміщень. У виробничих майстернях освітлення повинно забезпечувати достатній рівень освітленості робочих місць, рівномірний розподіл світлового потоку та мінімізацію засліплюючого ефекту. Використання світлодіодних світильників дозволяє підвищити енергоефективність системи освітлення, зменшити споживання електричної енергії та збільшити ресурс роботи освітлювального обладнання.

Ремонтна майстерня мобільної техніки аграрного підприємства ПрАТ «Миронівський хлібопродукт» є виробничим об'єктом із значним рівнем електричних навантажень, що формуються технологічним обладнанням і системами освітлення. Аналіз характеристик виробничого об'єкта та умов експлуатації електрообладнання є необхідним етапом для подальшого

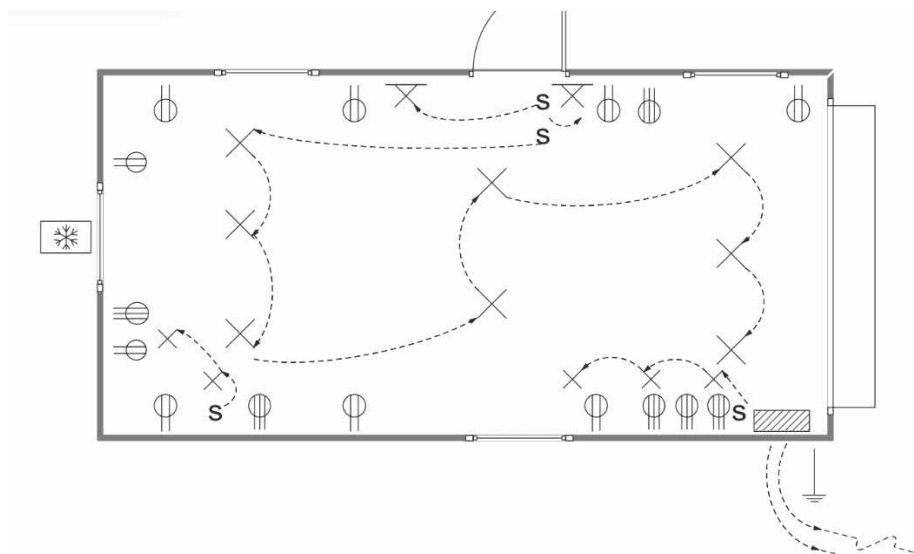
					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахунку електричних навантажень та розроблення проєктних рішень системи електроспоживання ремонтної майстерні.

1.2 Аналіз технологічного обладнання майстерні та його електричних навантажень

Технологічне обладнання ремонтної майстерні формує основну частину електричних навантажень виробничого об'єкта. До складу електроспоживачів майстерні входять металорізальні верстати, електрозварювальні установки, компресорні агрегати, підйомно-транспортні механізми, зарядні пристрої для акумуляторних батарей, ручний електроінструмент, а також системи освітлення та допоміжні електротехнічні установки. Аналіз складу обладнання та його встановленої потужності є необхідним етапом визначення електричних навантажень і подальшого вибору елементів системи електроспоживання.

Розміщення технологічного обладнання у виробничому приміщенні визначається планувальною схемою ремонтної майстерні. План розташування електротехнічного обладнання та освітлювальних приладів наведено на 1.1.



1.1 План розміщення технологічного обладнання та освітлення ремонтної майстерні

У приміщенні майстерні розташовуються основні технологічні зони: зона механічної обробки деталей, зварювальна дільниця, зона обслуговування

агрегатів техніки та допоміжні робочі місця. Освітлення виробничого приміщення здійснюється системою загального та локального освітлення, що забезпечує нормативні значення освітленості робочих зон відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018.

Основні електроспоживачі ремонтної майстерні та їх встановлена потужність наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Основне технологічне обладнання ремонтної майстерні

№	Найменування обладнання	Кількість	Потужність одного, кВт	Встановлена потужність, кВт
1	Токарний верстат	2	7,5	15
2	Свердлильний верстат	1	2,2	2,2
3	Фрезерний верстат	1	5,5	5,5
4	Електрозварювальний апарат	2	8	16
5	Компресорна установка	1	5,5	5,5
6	Підйомник або кран-балка	1	3	3
7	Зарядні пристрої акумуляторів	2	1	2
8	Ручний електроінструмент	—	3	3

Сумарна встановлена потужність технологічного обладнання становить

$P_{уст} \approx 52-55 \text{ кВт}$.

Крім силового технологічного обладнання, електричне навантаження майстерні формують системи освітлення та допоміжні електроспоживачі. Для виробничих приміщень ремонтних майстерень нормативна освітленість робочих зон становить 300–500 лк. При використанні світлодіодних світильників для приміщення площею приблизно 300–350 м² встановлена потужність системи освітлення становить

$P_{осв} \approx 4-5 \text{ кВт}$.

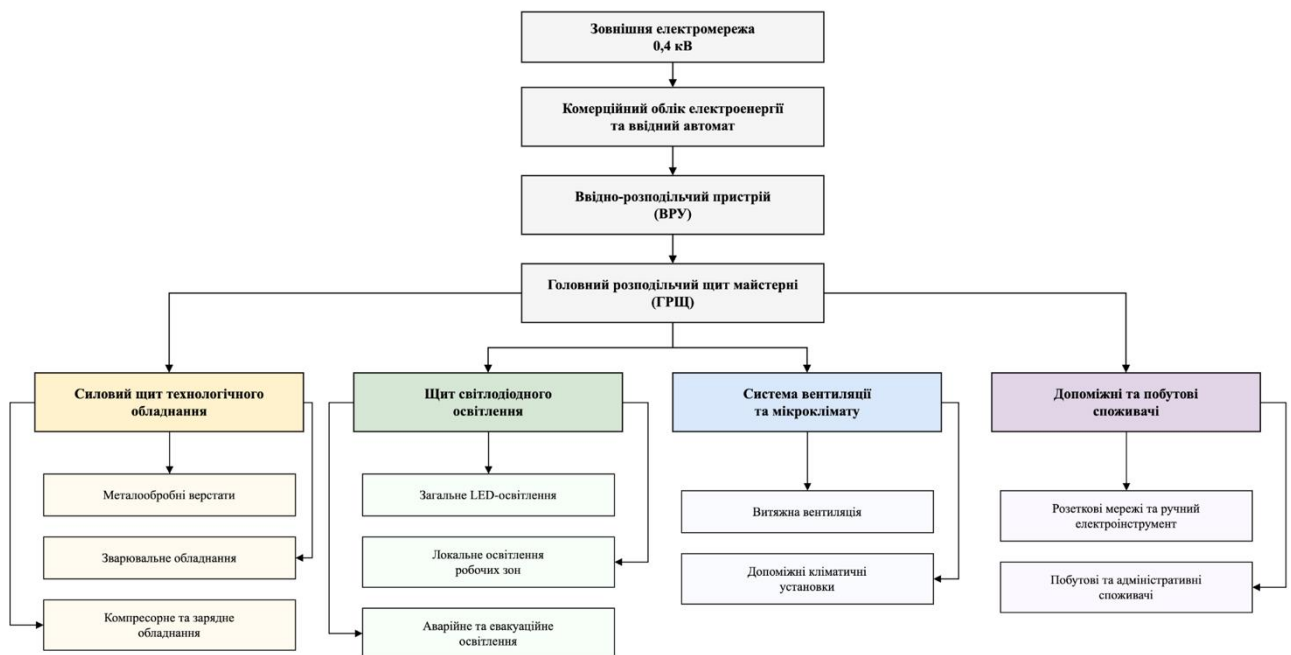
До допоміжних електроспоживачів належать системи вентиляції, розеткові мережі та побутове обладнання. Сумарна потужність цієї групи споживачів становить

$P_{доп} \approx 3-4 \text{ кВт.}$

Загальна встановлена потужність електроспоживачів ремонтної майстерні визначається як

$P_{заг} = P_{уст} + P_{осв} + P_{доп} \approx 60-64 \text{ кВт.}$

Живлення електрообладнання здійснюється від трифазної мережі змінного струму 380/220 В частотою 50 Гц через ввідно-розподільчий пристрій та головний розподільчий щит майстерні. Структурну схему розподілу електричної енергії між групами споживачів наведено на рис. 1.2.



1.2 Структурна схема системи електроспоживання ремонтної майстерні

Згідно з наведеною схемою електроенергія від зовнішньої електромережі напругою 0,4 кВ через ввідно-розподільчий пристрій надходить до головного розподільчого щита майстерні, від якого здійснюється живлення основних груп електроспоживачів: силового технологічного обладнання, системи світлодіодного освітлення, вентиляційних установок та допоміжних побутових споживачів.

1.3 Класифікація електроспоживачів ремонтної майстерні

У ремонтній майстерні основну частину електроспоживання формують силові технологічні установки, що забезпечують виконання ремонтних і відновлювальних операцій. До цієї групи належать металорізальні верстати, компресорні установки, підйомні механізми та інші електромеханічні установки. Дані електроприймачі працюють переважно у трифазній мережі змінного струму напругою 380 В і характеризуються відносно значною встановленою потужністю. Крім силового обладнання, у структурі електроспоживання майстерні важливе місце займають освітлювальні установки, що забезпечують загальне, місцеве та аварійне освітлення виробничих зон. Освітлювальні електроприймачі працюють від однофазної мережі напругою 220 В і характеризуються тривалим режимом роботи.

До складу електроспоживачів також входять допоміжні електротехнічні установки, до яких належать системи вентиляції, зарядні пристрої акумуляторних батарей, а також розеткові мережі для підключення ручного електроінструменту та побутових електроприладів. Окрему групу становлять контрольно-діагностичні установки, що використовуються для перевірки технічного стану вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки.

Згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) електроспоживачі ремонтної майстерні належать переважно до II та III категорій надійності електропостачання. До II категорії відносяться споживачі, відмова яких може призвести до порушення технологічного процесу або зниження ефективності роботи підприємства, зокрема вентиляційні установки, діагностичні системи та частина освітлювальних установок. Основне технологічне обладнання майстерні, робота якого допускає короточасні перерви електроживлення, відноситься до III категорії надійності.

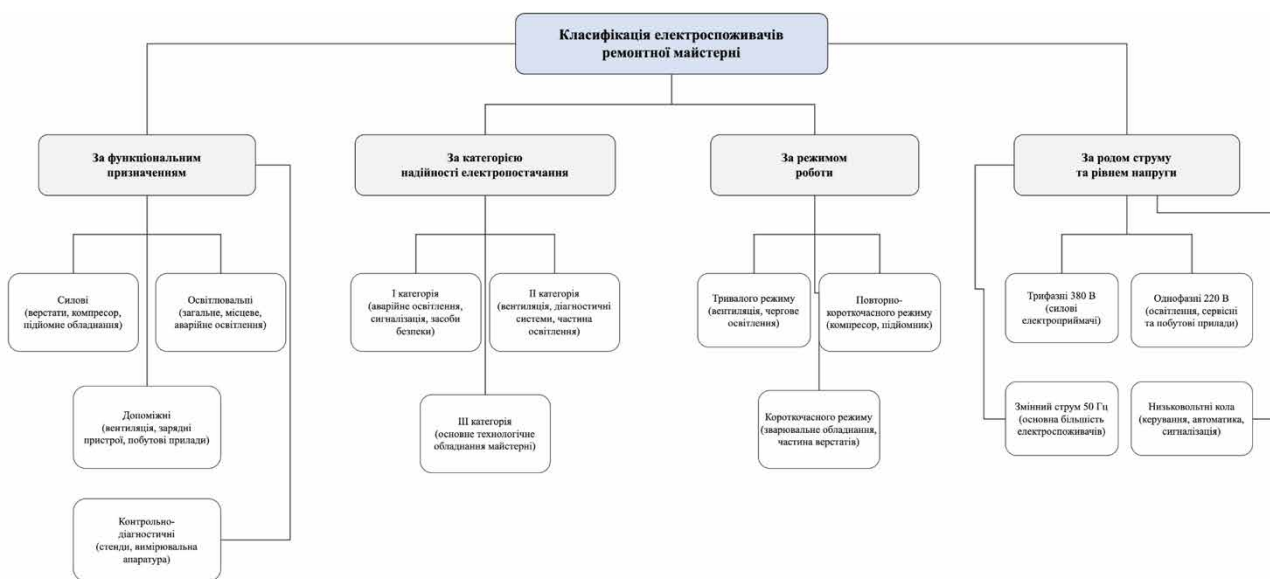
За режимом роботи електроприймачі ремонтної майстерні поділяються на електроприймачі тривалого, повторно-короткочасного та короткочасного режимів. До електроприймачів тривалого режиму належать системи освітлення та вентиляції, що працюють протягом усього робочого часу. Повторно-

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

короткочасний режим характерний для компресорних установок і підйомних механізмів, робота яких здійснюється з періодичними циклами навантаження. Короткочасний режим роботи притаманний електрозварювальним установкам та окремим металорізальним верстатам.

За родом струму та рівнем напруги більшість електроспоживачів ремонтної майстерні працює у мережі змінного струму частотою 50 Гц. Основне технологічне обладнання живиться від трифазної мережі напругою 380 В, тоді як освітлювальні установки, сервісні електроприймачі та побутове обладнання використовують однофазну мережу 220 В. Окремі елементи системи керування та автоматики працюють у низьковольтних колах керування.

Загальна структура класифікації електроспоживачів ремонтної майстерні наведена на рис. 1.3.



1.3 – Класифікація електроспоживачів ремонтної майстерні

Для узагальнення основних груп електроспоживачів та їх характеристик сформовано табл 1.2.

Таблиця 1.2

Основні групи електроспоживачів ремонтної майстерні

Група електроспоживачів	Основне обладнання	Напруга живлення	Режим роботи
Силові технологічні установки	токарні, фрезерні, свердлильні верстати, компресор, підйомник	380 В	повторно-короткочасний
Зварювальне обладнання	електрозварювальні апарати	380 В	короткочасний
Освітлювальні установки	LED світильники загального, місцевого та аварійного освітлення	220 В	тривалий
Допоміжні установки	вентиляція, зарядні пристрої	220/380 В	тривалий
Контрольно-діагностичні системи	діагностичні стенди, вимірювальна апаратура	220 В	періодичний

Класифікація електроспоживачів ремонтної майстерні дозволяє визначити структуру електричних навантажень виробничого об'єкта та є основою для подальшого розрахунку параметрів системи електроспоживання і вибору електротехнічного обладнання.

1.4 Особливості використання світлодіодних систем освітлення у виробничих об'єктах

Система освітлення є важливою складовою електроспоживання виробничих приміщень ремонтних майстерень. Основною вимогою до освітлення таких об'єктів є забезпечення нормативних значень освітленості робочих зон відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Для ремонтних і механічних дільниць освітленість робочої поверхні повинна становити 300–500 лк, для допоміжних приміщень – 100–200 лк, а для шляхів евакуації в аварійному режимі – не менше 1 лк.

У сучасних виробничих приміщеннях застосовуються світлодіодні (LED) системи освітлення, що характеризуються високою світловою ефективністю та низьким енергоспоживанням. Світлова віддача світлодіодних світильників становить 100–160 лм/Вт, тоді як для люмінесцентних ламп цей показник становить 60–90 лм/Вт, а для ламп розжарювання – 10–15 лм/Вт. Завдяки цьому використання LED-освітлення дозволяє зменшити витрати електроенергії на освітлення виробничих приміщень на 40–60 %.

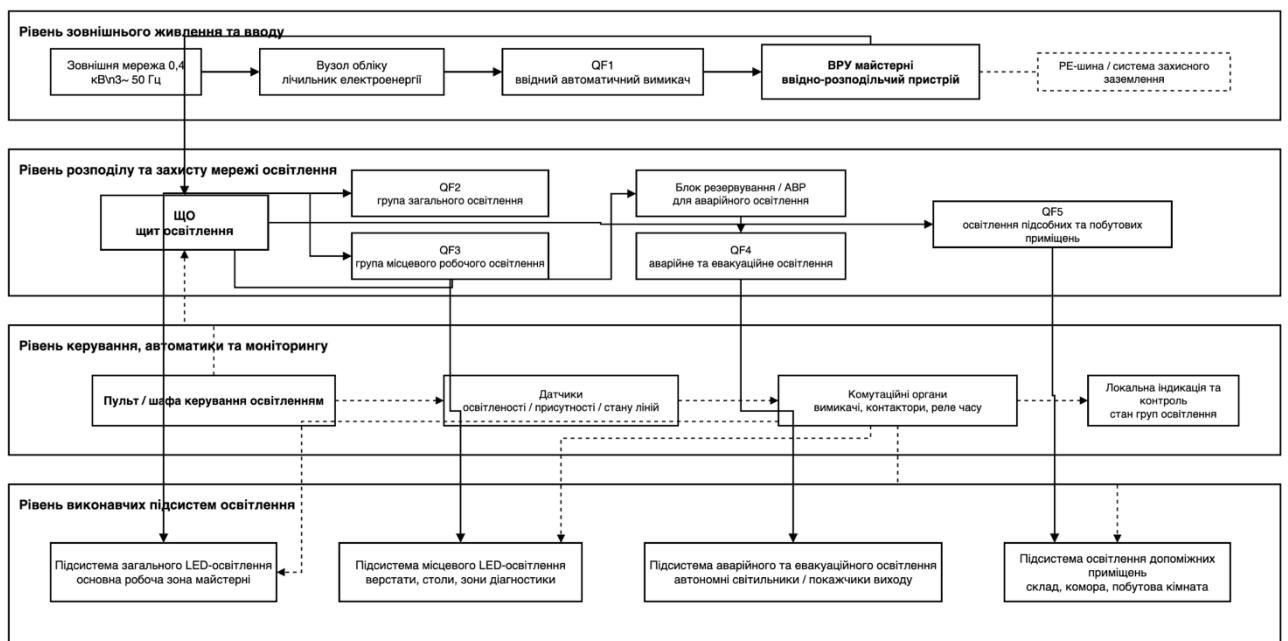
Для ремонтних майстерень із висотою приміщення 4–6 м використовуються промислові LED-світильники потужністю 80–120 Вт зі світловим потоком 10 000–15 000 лм. При площі виробничого залу приблизно 300–350 м² загальна встановлена потужність системи освітлення становить 4–5 кВт. Термін експлуатації світлодіодних світильників досягає 50 000–70 000 год, що значно зменшує витрати на технічне обслуговування освітлювальних установок.

У виробничих приміщеннях ремонтних майстерень застосовується комбінована система освітлення, що включає загальне та місцеве освітлення. Загальне освітлення забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку у приміщенні, а місцеве освітлення використовується для освітлення робочих місць верстатів та зон технічної діагностики. Для локального освітлення застосовуються LED-світильники потужністю 20–40 Вт зі світловим потоком 2000–4000 лм.

У системі освітлення також передбачаються аварійне та евакуаційне освітлення, що працюють від автономних джерел живлення. Час автономної роботи таких світильників становить не менше 1 години після зникнення основного живлення.

Архітектура системи світлодіодного освітлення ремонтної майстерні наведена на рис. 1.4.

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1.4 – Архітектура системи світлодіодного освітлення ремонтної майстерні

Живлення освітлювальної мережі здійснюється від зовнішньої електромережі 0,4 кВ через ввідно-розподільний пристрій та щит освітлення. Розподіл електроенергії виконується по групах загального, місцевого, аварійного та допоміжного освітлення через автоматичні вимикачі та комутаційні апарати. Керування освітленням здійснюється через комутаційні пристрої та датчики освітленості або присутності, що дозволяє оптимізувати режим роботи освітлювальної системи та зменшити споживання електричної енергії.

Застосування світлодіодних систем освітлення у виробничих приміщеннях ремонтних майстерень дозволяє забезпечити нормативні параметри освітленості, знизити встановлену потужність освітлювальної установки до 4–5 кВт та підвищити енергоефективність системи електроспоживання виробничого об'єкта.

1.5 Постановка задачі проєктування системи електроспоживання

Проектування системи електроспоживання ремонтної майстерні спрямоване на забезпечення надійного та енергоефективного електроживлення технологічного обладнання, освітлювальних установок і допоміжних електроприймачів відповідно до вимог ПУЕ, ДБН та нормативів електробезпеки.

На основі аналізу технологічного обладнання, структури електричних навантажень та умов експлуатації електроустановок необхідно розробити раціональну систему електроспоживання ремонтної майстерні, що забезпечує живлення споживачів від трифазної мережі 380/220 В, 50 Гц.

У межах проектування необхідно виконати визначення встановленої та розрахункової потужності електроспоживачів майстерні, розробити структурну схему електропостачання, обґрунтувати вибір вводно-розподільчого пристрою, головного розподільчого щита та групових електричних щитів. Крім того, необхідно виконати вибір кабельних ліній, апаратів захисту та комутації, а також визначити параметри системи освітлення виробничого приміщення із застосуванням світлодіодних світильників.

Проектована система електроспоживання повинна забезпечувати розрахункову потужність електроприймачів майстерні на рівні приблизно 60–65 кВт, рівномірний розподіл навантаження між фазами, захист електричних мереж від перевантажень і коротких замикань, а також безпечну експлуатацію електроустановок виробничого об'єкта.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

2.1 Визначення встановленої потужності електроспоживачів майстерні

Визначення встановленої потужності електроспоживачів є початковим етапом розрахунку системи електроспоживання ремонтної майстерні. Розрахунок виконується на основі переліку технологічного обладнання, наведеного у першому розділі, а також з урахуванням освітлювальних, вентиляційних і допоміжних електроприймачів. Для розрахунків приймається трифазна система живлення напругою 380/220 В, частотою 50 Гц.

Встановлена потужність окремої групи однотипних електроприймачів визначається як добуток кількості обладнання на номінальну потужність одного електроприймача:

$$P_{\text{уст},i} = n_i \cdot P_{\text{ном},i}, \text{кВт} \quad (2.1)$$

де $P_{\text{уст},i}$ - встановлена потужність i -ї групи електроприймачів, кВт;

n_i - кількість однотипних електроприймачів;

$P_{\text{ном},i}$ - номінальна потужність одного електроприймача, кВт.

Сумарна встановлена потужність ремонтної майстерні визначається додаванням потужностей усіх силових, освітлювальних і допоміжних споживачів:

$$P_{\Sigma \text{уст}} = \Sigma P_{\text{уст},i}, \text{кВт} \quad (2.2)$$

До складу основних силових споживачів включено металорізальні верстати, зварювальні апарати, компресорну установку, підйомний механізм, зарядні пристрої та ручний електроінструмент. Для системи освітлення приймається світлодіодна установка загального, місцевого та аварійного

освітлення, що відповідає вимогам до освітленості виробничих приміщень ремонтного призначення.

Таблиця 2.1

Встановлена потужність електроспоживачів ремонтної майстерні

№	Найменування електроспоживача	Кількість	Потужність одного, кВт	Встановлена потужність, кВт
1	Токарний верстат	2	7,5	15,0
2	Свердлильний верстат	1	2,2	2,2
3	Фрезерний верстат	1	5,5	5,5
4	Електрозварювальний апарат	2	8,0	16,0
5	Компресорна установка	1	5,5	5,5
6	Підйомник / кран-балка	1	3,0	3,0
7	Зарядні пристрої акумуляторів	2	1,0	2,0
8	Ручний електроінструмент	-	3,0	3,0
9	Система світлодіодного освітлення	-	-	4,5
10	Вентиляція та допоміжні споживачі	-	-	3,5
	Разом			60,2

За результатами узагальнення встановлена потужність електроспоживачів ремонтної майстерні становить 60,2 кВт. Отримане значення відповідає прийнятому у першому розділі діапазону 60–65 кВт і може використовуватися як базове для подальшого визначення розрахункових та максимальних навантажень.

Встановлена потужність не дорівнює фактичному одночасному навантаженню, оскільки окремі електроприймачі працюють з різною тривалістю, не всі верстати одночасно завантажені на номінальну потужність, а частина обладнання має повторно-короткочасний або періодичний режим роботи. Тому на наступному етапі вводяться коефіцієнти попиту та використання електричної енергії.

2.2 Розрахунок коефіцієнтів попиту та використання електричної енергії

Для переходу від встановленої потужності до розрахункової застосовуються коефіцієнти попиту та використання. Коефіцієнт попиту враховує імовірність одночасної роботи електроприймачів і фактичне завантаження обладнання у робочому циклі. Для ремонтної майстерні ці коефіцієнти залежать від призначення електроприймачів, режиму роботи та характеру технологічних операцій.

Розрахункова активна потужність групи споживачів визначається за формулою:

$$P_{p,i} = K_{п,i} \cdot P_{уст,i}, \text{ кВт} \quad (2.3)$$

де $K_{п,i}$ - коефіцієнт попиту i -ї групи електроприймачів;

$P_{уст,i}$ - встановлена потужність групи, кВт.

Реактивна потужність групи визначається через тангенс кута зсуву фаз:

$$Q_{p,i} = P_{p,i} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \text{ квар} \quad (2.4)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \sqrt{(1 - \cos^2 \varphi_i)} / \cos \varphi_i \quad (2.5)$$

Повна потужність групи електроприймачів визначається за формулою:

$$S_{p,i} = P_{p,i} / \cos \varphi_i, \text{ кВА} \quad (2.6)$$

Для силового механічного обладнання прийнято коефіцієнт попиту 0,55, оскільки верстати, компресор і підйомний механізм не працюють одночасно з повним навантаженням. Для зварювальних апаратів прийнято коефіцієнт 0,40 у зв'язку з короткочасним характером роботи. Для світлодіодного освітлення приймається високий коефіцієнт попиту 0,95, оскільки освітлення працює протягом усього робочого часу майстерні.

Розрахунок групових навантажень ремонтної майстерні

Група електроспоживачів	Р _{уст} , кВт	К _п	cosφ	Р _р , кВт	Q _р , квар	Sp, кВА
Силове механічне обладнання	31,2	0,55	0,85	17,16	10,63	20,19
Електрозварювальне обладнання	16,0	0,40	0,70	6,40	6,53	9,14
Зарядні пристрої акумуляторів	2,0	0,60	0,90	1,20	0,58	1,33
Ручний електроінструмент	3,0	0,50	0,80	1,50	1,12	1,88
Світлодіодне освітлення	4,5	0,95	0,95	4,27	1,41	4,50
Вентиляція та допоміжні споживачі	3,5	0,70	0,85	2,45	1,52	2,88
Разом	60,2	-	-	32,98	21,79	39,53

Сумарна розрахункова активна потужність становить $P_{p\Sigma} = 32,98$ кВт, реактивна потужність $Q_{p\Sigma} = 21,79$ квар, а повна потужність $S_{p\Sigma} = 39,53$ кВА,

$$K_{п, \Sigma} = P_{p\Sigma} / P_{\Sigma \text{уст}} \quad (2.7)$$

Загальний коефіцієнт попиту для майстерні дорівнює:

$$K_{п, \Sigma} = 32,99 / 60,2 = 0,55$$

Отже, фактичне розрахункове навантаження становить близько 55 % від установленної потужності. Такий результат є характерним для ремонтних майстерень, де більшість силового обладнання використовується періодично, а постійно працюючими споживачами є переважно освітлення, вентиляція та окремі допоміжні установки.

2.3 Розрахунок максимальних електричних навантажень

Максимальне електричне навантаження визначається з урахуванням розрахункової потужності груп споживачів та експлуатаційного резерву. Резерв необхідний для компенсації можливого збільшення кількості

електроінструменту, нерівномірності завантаження фаз, підключення додаткових діагностичних пристроїв та перспективного розвитку майстерні.

Для ремонтної майстерні приймаємо коефіцієнт резерву:

$$K_{рез} = 1,10$$

Максимальна активна потужність визначається за формулою:

$$P_{max} = K_{рез} \cdot P_{p\Sigma}, \text{ кВт} \quad (2.8)$$

Підставляємо отримане значення розрахункової активної потужності:

$$P_{max} = 1,10 \cdot 32,99 = 36,28 \text{ кВт}$$

Максимальна реактивна потужність:

$$Q_{max} = 1,10 \cdot 21,79 = 23,97 \text{ квар}$$

Максимальна повна потужність визначається за формулою:

$$S_{max} = \sqrt{(P_{max}^2 + Q_{max}^2)}, \text{ кВА} \quad (2.9)$$

$$S_{max} = \sqrt{(36,28^2 + 23,97^2)} = 43,49 \text{ кВА}$$

Середній коефіцієнт потужності майстерні для максимального режиму становить:

$$\cos\varphi_{\Sigma} = P_{max} / S_{max} \quad (2.10)$$

$$\cos\varphi_{\Sigma} = 36,28 / 43,49 = 0,83$$

Таблиця 2.3

Підсумкові розрахункові та максимальні навантаження майстерні

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Сумарна встановлена потужність	$P_{\Sigma\text{уст}}$	кВт	60,2
Сумарна розрахункова активна потужність	$P_{p\Sigma}$	кВт	32,99
Сумарна розрахункова реактивна потужність	$Q_{p\Sigma}$	квар	21,79
Сумарна розрахункова повна потужність	$S_{p\Sigma}$	кВА	39,53
Коефіцієнт резерву	$K_{рез}$	-	1,10
Максимальна активна потужність	P_{max}	кВт	36,28
Максимальна реактивна потужність	Q_{max}	квар	23,97
Максимальна повна потужність	S_{max}	кВА	43,49
Середній коефіцієнт потужності	$\cos\varphi_{\Sigma}$	-	0,83

Отримане максимальне навантаження $S_{\max} = 43,49$ кВА є основою для вибору джерела електроживлення, номіналу ввідного апарата захисту, перерізу ввідного кабелю та параметрів головного розподільчого щита. При цьому встановлена потужність 60,2 кВт зберігається як довідкова величина, що характеризує сумарну потужність підключеного обладнання.

2.4 Розрахунок освітлювального навантаження світлодіодної системи освітлення

Освітлювальне навантаження ремонтної майстерні визначається з урахуванням нормативної освітленості робочих зон, площі приміщення, коефіцієнта запасу та світлового потоку вибраних LED-світильників. Для ремонтних і механічних дільниць приймається освітленість 300–500 лк. У розрахунку для основного виробничого залу приймаємо $E_n = 400$ лк, що забезпечує достатні умови для слюсарних, механічних і діагностичних робіт.

Необхідний сумарний світловий потік визначається методом коефіцієнта використання світлового потоку:

$$\Phi_{\Sigma} = (E_n \cdot F \cdot K_z) / (\eta \cdot z), \text{ лм} \quad (2.11)$$

де E_n - нормована освітленість, лк;

F - площа приміщення, м²;

K_z - коефіцієнт запасу;

η - коефіцієнт використання світлового потоку;

z - коефіцієнт нерівномірності освітлення.

Для виробничого залу приймаємо: $F = 330$ м², $E_n = 400$ лк, $K_z = 1,5$, $\eta = 0,60$, $z = 1,1$. Тоді:

$$\Phi_{\Sigma} = (400 \cdot 330 \cdot 1,5) / (0,60 \cdot 1,1) = 300000 \text{ лм}$$

Для загального освітлення приймаємо промисловий LED-світильник потужністю 120 Вт зі світловим потоком 12000 лм. Кількість світильників визначається за формулою:

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = \Phi_{\Sigma} / \Phi_1 \quad (2.12)$$

$$N = 300000 / 12000 = 25,0 \approx 30 \text{ шт.},$$

З урахуванням необхідності рівномірного розміщення світильників по довжині приміщення, виділення робочих зон і створення експлуатаційного резерву приймаємо 30 LED-світильників загального освітлення потужністю 120 Вт.

$$P_{\text{осв. заг}} = N \cdot P_{\text{св, кВт}} \quad (2.13)$$

$$P_{\text{осв. заг}} = 30 \cdot 0,12 = 3,6 \text{ кВт}$$

Крім загального освітлення, передбачається місцеве освітлення робочих місць, аварійне та евакуаційне освітлення, а також освітлення допоміжних зон. Структуру освітлювального навантаження наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Розрахунок установленної потужності системи LED-освітлення

Група освітлення	Кількість, шт.	Потужність одного, Вт	Встановлена потужність, кВт
Загальне освітлення виробничого залу	30	120	3,6
Місьцеве освітлення робочих зон	12	40	0,48
Аварійне та евакуаційне освітлення	4	5	0,02
Освітлення допоміжних зон	6	60	0,36
Резерв на додаткові світильники та пускорегулювальні пристрої	-	-	0,03
Разом	-	-	4,50

Отже, встановлена потужність світлодіодної системи освітлення становить 4,5 кВт. Отримане значення відповідає прийнятому у першому розділі діапазону 4–5 кВт для виробничого приміщення площею 300–350 м². Перевагою LED-системи є менша встановлена потужність порівняно з традиційними джерелами світла при забезпеченні необхідної освітленості робочих зон.

2.5 Розрахунок струмів навантаження електричної мережі

Розрахунок струмів навантаження необхідний для вибору перерізів кабелів, автоматичних вимикачів, апаратів комутації та шин розподільчих щитів. Для трифазних електроприймачів струм визначається за активною потужністю, лінійною напругою та коефіцієнтом потужності:

$$I = (P \cdot 1000) / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi), A \quad (2.14)$$

де P - активна потужність, кВт;

U - лінійна напруга мережі, В;

cosφ - коефіцієнт потужності.

Для однофазних споживачів струм визначається за формулою:

$$I = (P \cdot 1000) / (U_{\phi} \cdot \cos\varphi), A \quad (2.15)$$

Струм ввідної лінії для максимального режиму роботи майстерні визначаємо за повною потужністю:

$$I_{\text{ВВ}} = (S_{\text{max}} \cdot 1000) / (\sqrt{3} \cdot U) \quad (2.16)$$

$$I_{\text{ВВ}} = (43,49 \cdot 1000) / (1,732 \cdot 380) = 66,1 A$$

Розрахункові струми основних груп електроспоживачів наведено у табл.

2.5.

Таблиця 2.5

Розрахункові струми групових ліній

Група електроспоживачів	Рр або Рmax, кВт	Напруга, В	cosφ	Струм, А
Силове механічне обладнання	17,16	380/220	0,85	30,7
Електрозварювальне обладнання	6,40	380/220	0,70	13,9
Зарядні пристрої акумуляторів	1,20	380/220	0,90	2,0
Ручний електроінструмент	1,50	380/220	0,80	2,8
Світлодіодне освітлення	4,5	380/220	0,95	6,9
Вентиляція та допоміжні споживачі	2,45	380/220	0,85	4,4
Ввідна лінія майстерні	36,28	380	0,83	66,1

За результатами розрахунку струм ввідної лінії становить 66,1 А. З урахуванням пускових струмів електродвигунів, нерівномірності завантаження

фаз та перспективного резерву доцільно прийняти ввідний автоматичний вимикач номіналом 100 А. Для групових ліній номінали апаратів захисту вибираються за розрахунковими струмами з урахуванням допустимого тривалого струму кабелю.

2.6 Розрахунок перерізу кабелів та провідників

Вибір перерізу кабелів виконується за умовою допустимого тривалого струму, механічної міцності, допустимого падіння напруги та узгодження з апаратами захисту. Для ремонтної майстерні доцільно застосовувати мідні кабелі з негорючою ізоляцією типу ВВГнг-LS або аналогічні кабельні вироби, прокладені у кабельних каналах, лотках або металорукавах у зонах можливого механічного пошкодження.

Попередній мінімальний переріз кабелю може бути оцінений за допустимою густиною струму:

$$S_{min} = I_p / j_{доп}, \text{мм}^2 \quad (2.17)$$

де I_p - розрахунковий струм лінії, А;

$j_{доп}$ - допустима густина струму для мідного провідника, А/мм².

Остаточний вибір виконується за довідковими допустимими струмами та умовами прокладання.

Перевірка кабельної лінії за втратою напруги виконується за формулою:

$$\Delta U = (\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi) / U) \cdot 100 \%, \quad (2.18)$$

де I - струм лінії, А;

l - довжина лінії, км;

r_0 та x_0 - питомі активний та індуктивний опори кабелю, Ом/км;

U - лінійна напруга мережі, В.

Для ввідної кабельної лінії приймаємо кабель ВВГнг-LS 5×25 мм². За розрахункового струму 66,1 А та довжини лінії 35 м падіння напруги становить:

$$\Delta U_{вв} = 0,68 \% < 5 \%, \quad (2.19)$$

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

що відповідає допустимим значенням для внутрішніх електричних мереж. Вибір перерізів основних кабельних ліній наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Вибір кабелів і апаратів захисту для основних ліній

Ділянка мережі	Розрахунковий струм, А	Прийнятий кабель	Автомат, А	ΔU , %
Ввідна лінія до ГРЩ	66,1	ВВГнг-LS 5×25	100	0,68
Лінія до щита силового обладнання	30,7	ВВГнг-LS 5×10	40	0,89
Лінія зварювального обладнання	13,9	ВВГнг-LS 5×6	25	0,35
Лінія щита освітлення	6,9	ВВГнг-LS 5×4	16	0,48
Лінія вентиляції та мікроклімату	4,4	ВВГнг-LS 5×2,5	16	0,30
Розеткові групи та електроінструмент	8,5	ВВГнг-LS 3×2,5	16	0,55

Прийняті перерізи кабелів забезпечують допустиме струмове навантаження та мають резерв відносно розрахункових струмів. Падіння напруги на основних лініях не перевищує допустимого значення 5 %, що підтверджує правильність вибору кабельних ліній для електропостачання ремонтної майстерні.

2.7 Розрахунок втрат електричної енергії в електричній мережі

Втрати електричної енергії у внутрішній мережі ремонтної майстерні виникають у кабельних лініях внаслідок протікання струму через активний опір провідників. Для оцінки ефективності системи електроспоживання необхідно визначити втрати потужності у основних ділянках мережі та річні втрати електричної енергії.

Втрати активної потужності у трифазній кабельній лінії визначаються за формулою:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{л}}, \text{кВт} \quad (2.20)$$

$$R_{\text{л}} = r_0 \cdot l / 1000, \text{Ом} \quad (2.21)$$

де I - струм лінії, А;

$R_{\text{л}}$ - активний опір однієї жили кабелю, Ом;

r_0 - питомий опір кабелю, Ом/км;

l - довжина лінії, м.

Для ввідної лінії з кабелем $5 \times 25 \text{ мм}^2$ при $r_0 = 0,727 \text{ Ом/км}$, $l = 35 \text{ м}$ та $I = 66,1 \text{ А}$ втрати активної потужності становлять:

$$R_{\text{л}} = 0,727 \cdot 35 / 1000 = 0,0254 \text{ Ом}$$

$$\Delta P_{\text{вв}} = 3 \cdot 66,1^2 \cdot 0,0254 / 1000 = 0,33 \text{ кВт}$$

Аналогічно визначено втрати потужності для основних групових ліній. Результати наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Оцінка втрат активної потужності у кабельних лініях

Ділянка мережі	Струм, А	Довжина, м	r_0 , Ом/км	Втрати, кВт
Ввідна лінія до ГРЩ	66,1	35	0,727	0,33
Лінія до щита силового обладнання	30,7	40	1,83	0,21
Лінія зварювального обладнання	13,9	25	3,08	0,04
Лінія щита освітлення	6,9	35	4,61	0,02
Лінія вентиляції та мікроклімату	4,4	30	7,41	0,01
Розеткові групи та електроінструмент	8,5	25	7,41	0,04
Разом	-	-	-	0,65

Сумарні втрати активної потужності у внутрішній електричній мережі становлять приблизно 0,65 кВт. Для оцінки річних втрат електричної енергії приймаємо тривалість роботи електроустановки 1800 год/рік та коефіцієнт завантаження мережі за втратами 0,45.

$$\Delta W = \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau \cdot K_{\text{зав}}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (2.22)$$

$$\Delta W = 0,65 \cdot 1800 \cdot 0,45 = 527 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Річні втрати електричної енергії у внутрішній мережі є незначними порівняно із загальним електроспоживанням майстерні, однак їх зменшення досягається за рахунок правильного вибору перерізів кабелів, раціонального розміщення розподільчих щитів, скорочення довжин групових ліній і рівномірного розподілу навантаження між фазами.

Висновки до розділу 2

У другому розділі виконано математичне моделювання та розрахунок електричних навантажень ремонтної майстерні з ремонту мобільної сільськогосподарської техніки. На основі складу технологічного обладнання, системи світлодіодного освітлення та допоміжних споживачів визначено сумарну встановлену потужність електроприймачів, яка становить 60,2 кВт.

Виконано розрахунок коефіцієнтів попиту та групових електричних навантажень. Сумарна розрахункова активна потужність становить 32,99 кВт, реактивна потужність - 21,79 квар, а повна потужність - 39,53 кВА. З урахуванням експлуатаційного резерву максимальна активна потужність дорівнює 36,28 кВт, а максимальна повна потужність - 43,49 кВА.

Розраховано освітлювальне навантаження світлодіодної системи освітлення виробничого приміщення. За методом коефіцієнта використання світлового потоку визначено необхідну кількість LED-світильників і прийнято встановлену потужність системи освітлення 4,5 кВт, що відповідає вимогам до виробничих приміщень ремонтного призначення.

Визначено струми навантаження основних групових ліній та ввідної лінії. Струм ввідної лінії становить 66,1 А, тому для подальшого проєктування доцільно прийняти ввідний автоматичний вимикач номіналом 100 А. За результатами розрахунку підібрано кабельні лінії, зокрема ВВГнг-LS 5×25 мм²

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

для вводу до головного розподільчого щита, а також групові кабелі для силового обладнання, освітлення, вентиляції та розеткових мереж.

Перевірка кабельних ліній за падінням напруги показала, що отримані значення не перевищують допустимого рівня. Сумарні втрати потужності у внутрішній мережі становлять близько 0,65 кВт, а річні втрати електричної енергії оцінено на рівні 527 кВт·год/рік. Отримані результати є основою для подальшого проєктування системи електропостачання ремонтної майстерні, вибору джерела живлення, трансформаторного обладнання, апаратів комутації та захисту.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ

3.1 Розробка структури системи електропостачання

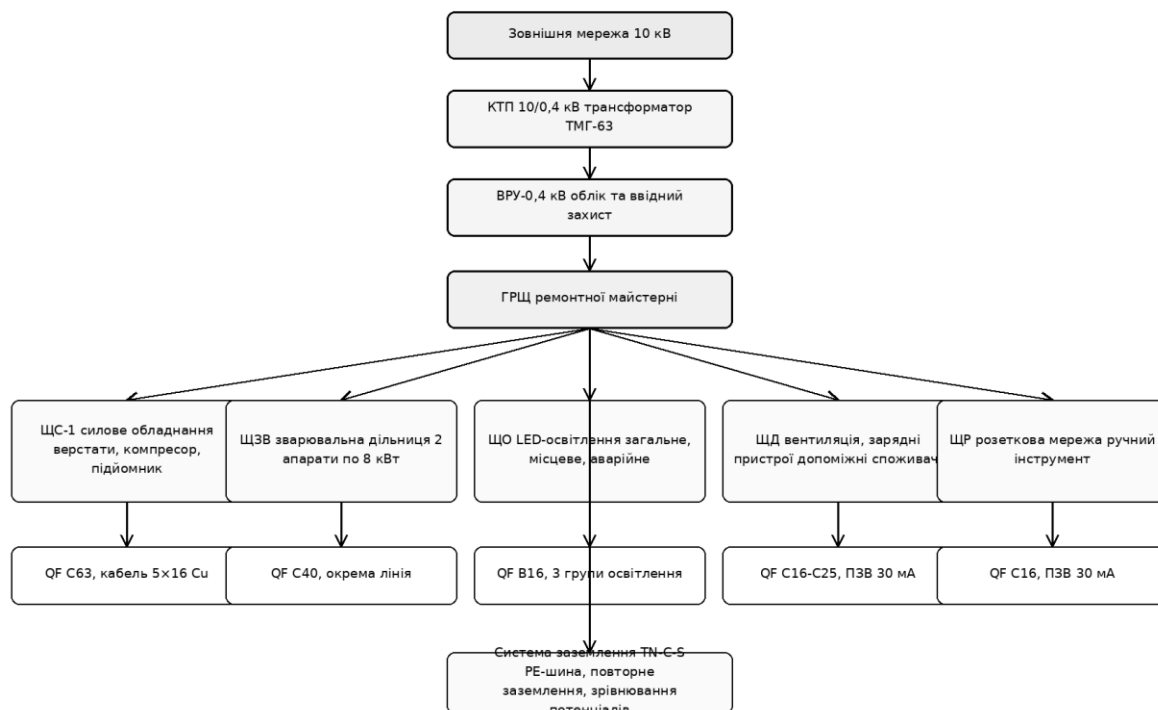
Проектування системи електропостачання ремонтної майстерні виконується з урахуванням складу технологічного обладнання, умов експлуатації електроустановок, вимог до надійності електроживлення та необхідності впровадження енергоефективного світлодіодного освітлення. Ремонтна майстерня належить до виробничих об'єктів зі змішаним характером електричних навантажень, оскільки в ній одночасно використовуються силові електроприймачі, зварювальне обладнання, освітлювальні установки, вентиляція, зарядні пристрої та розеткові мережі для ручного електроінструменту.

Вихідними даними для розроблення структури електропостачання є встановлена потужність технологічного обладнання 52,2 кВт, встановлена потужність системи світлодіодного освітлення 4,8 кВт та орієнтовна потужність допоміжних споживачів 3,5 кВт. Загальна встановлена потужність електроприймачів ремонтної майстерні становить приблизно 60,5 кВт. Живлення передбачається від трифазної мережі змінного струму напругою 380/220 В частотою 50 Гц.

Система електропостачання майстерні приймається радіальною з розподілом електричної енергії від головного розподільчого щита до окремих групових щитів. Така структура є доцільною для виробничого об'єкта, оскільки забезпечує селективність захисту, зручність експлуатації, можливість окремого відключення технологічних ділянок і підвищену ремонтпридатність електричної мережі.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

У складі системи електропостачання передбачаються такі основні елементи: комплектна трансформаторна підстанція або наявна трансформаторна підстанція підприємства, ввідно-розподільчий пристрій 0,4 кВ, головний розподільчий щит майстерні, силовий щит технологічного обладнання, щит зварювальної дільниці, щит освітлення, щит допоміжних споживачів і розеткові групи. Структурну схему системи електропостачання наведено на рис. 3.1.



3.1 - Структурна схема системи електропостачання ремонтної майстерні

Згідно з рисунком 3.1 електрична енергія від зовнішньої мережі через трансформаторну підстанцію та ввідно-розподільчий пристрій надходить до головного розподільчого щита. Від головного щита виконуються окремі лінії живлення до силового обладнання, зварювальної дільниці, системи освітлення, вентиляції, зарядних пристроїв та розеткових мереж. Для забезпечення електробезпеки приймається система заземлення TN-C-S з розділенням PEN-провідника на РЕ та N у ввідному пристрої майстерні.

Основні групи електроспоживачів, прийняті для проєктування системи електропостачання, наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Основні групи електроспоживачів ремонтної майстерні

Група споживачів	Встановлена потужність, кВт	Напруга живлення	Характер навантаження	Прийнятий щит
Силове технологічне обладнання	52,2	380 В	повторно-короткочасний	ЩС-1
Зварювальна дільниця	16,0 у складі силового навантаження	380 В	короткочасний	ЩЗВ
Світлодіодне освітлення	4,5	220 В	тривалий	ЩО
Вентиляція, зарядні пристрої, допоміжні споживачі	3,5	220/380 В	тривалий, періодичний	ЩД
Розеткова мережа ручного інструменту	у складі допоміжного навантаження	220 В	періодичний	ЩР

3.2 Вибір джерела електроживлення

Джерело електроживлення ремонтної майстерні повинно забезпечувати живлення електроприймачів з урахуванням розрахункового максимуму навантаження, допустимого відхилення напруги, пускових режимів електродвигунів та умов безпечної експлуатації електроустановок. Для виробничого об'єкта приймається живлення від існуючої або проєктованої мережі 10 кВ підприємства через трансформаторну підстанцію 10/0,4 кВ.

Розрахункова активна потужність електроприймачів визначається за коефіцієнтом попиту:

$$P_p = K_p \cdot P_{вст}, \text{ кВт}, \quad (3.1)$$

де P_p - розрахункова активна потужність групи електроприймачів, кВт;

K_p - коефіцієнт попиту;

Рвст - встановлена потужність групи електроприймачів, кВт.

Для силового технологічного обладнання приймаємо $K_p = 0,55$, для світлодіодного освітлення $K_p = 0,95$, для допоміжних споживачів $K_p = 0,65$.
 Реактивна потужність визначається через тангенс кута зсуву фаз:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар.} \quad (3.2)$$

Повна розрахункова потужність визначається за формулою:

$$S_p = \sqrt{(P_p \Sigma^2 + Q_p \Sigma^2)}, \text{ кВА.} \quad (3.3)$$

Таблиця 3.2

Розрахунок електричних навантажень ремонтної майстерні

Група електроприймачів	Рвст, кВт	Кп	Рр, кВт	cosφ	tgφ	Qр, квар
Силове технологічне обладнання	52,2	0,55	28,71	0,75	0,88	25,32
Світлодіодне освітлення	4,8	0,95	4,56	0,95	0,33	1,50
Допоміжні споживачі	3,5	0,65	2,27	0,80	0,75	1,71
Разом	60,5	-	35,55	0,78	-	28,52

За результатами розрахунку сумарна активна потужність становить $P_p \Sigma = 35,55$ кВт, сумарна реактивна потужність $Q_p \Sigma = 28,52$ квар. Повна розрахункова потужність дорівнює:

$$S_p = \sqrt{35,55^2 + 28,52^2} = 45,58 \text{ кВА.} \quad (3.4)$$

Розрахунковий струм на вводі майстерні визначається за формулою:

$$I_p = S_p / (\sqrt{3} \cdot U_n), \text{ А.} \quad (3.5)$$

$$I_p = 45,58 / (\sqrt{3} \cdot 0,38) = 69,3 \text{ А.}$$

Отже, джерело електроживлення повинно забезпечувати повну потужність не менше 45,58 кВА та робочий струм ввідної лінії близько 69 А. З урахуванням резерву на пускові режими електродвигунів, можливе розширення майстерні та нерівномірність роботи технологічного обладнання приймається живлення від трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ потужністю не менше 63 кВА.

3.3 Вибір трансформаторного обладнання

Вибір трансформаторного обладнання виконується за розрахунковою повною потужністю електроспоживачів майстерні з урахуванням коефіцієнта резерву. Резерв потужності необхідний для компенсації пускових струмів електродвигунів, короткочасного ввімкнення зварювальних апаратів та можливого збільшення кількості електроприймачів у процесі експлуатації.

Необхідна потужність трансформатора визначається за формулою:

$$S_{\text{тр.розр}} = K_{\text{рез}} \cdot S_p, \text{ кВА}, \quad (3.6)$$

де $K_{\text{рез}}$ - коефіцієнт резерву потужності. Для виробничої майстерні приймаємо $K_{\text{рез}} = 1,25$.

$$S_{\text{тр.розр}} = 1,25 \cdot 45,58 = 56,98 \text{ кВА}.$$

За стандартним рядом потужностей трансформаторів приймається масляний трансформатор типу ТМГ-63/10/0,4 потужністю 63 кВА. Такий трансформатор забезпечує живлення розрахункового навантаження майстерні та має достатній резерв для короткочасних пускових режимів.

Коефіцієнт завантаження трансформатора визначається за формулою:

$$K_{\text{зав}} = S_p / S_{\text{тр. ном.}} \quad (3.7)$$

$$K_{\text{зав}} = 45,58 / 63 = 0,72.$$

Отримане значення $K_{\text{зав}} = 0,72$ є допустимим для нормального режиму роботи трансформатора. Номінальний струм трансформатора на стороні 0,4 кВ становить:

$$I_{\text{тр. ном}} = S_{\text{тр. ном}} / (\sqrt{3} \cdot U_n) = 63 / (\sqrt{3} \cdot 0,4) = 90,9 \text{ А}. \quad (3.8)$$

Оскільки номінальний струм трансформатора 90,9 А перевищує розрахунковий струм вводу 69,3 А, вибране трансформаторне обладнання відповідає умовам навантаження. Основні технічні параметри вибраного трансформатора наведено в табл 3.3.

Таблиця 3.3

Основні технічні параметри вибраного трансформатора

Параметр	Позначення	Одиниця	Значення
----------	------------	---------	----------

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип трансформатора	-	-	ТМГ-63/10/0,4
Номинальна потужність	Стр.ном	кВА	63
Вища напруга	UBH	кВ	10
Нижча напруга	UHH	кВ	0,4
Схема та група з'єднання	-	-	У/УН-0
Номинальний струм сторони 0,4 кВ	Ітр.ном	А	90,9
Коефіцієнт завантаження	Кзав	-	0,72

Для підвищення надійності роботи електроустановки трансформаторна підстанція повинна бути обладнана захистом від коротких замикань, перевантажень і перенапруг. На стороні 0,4 кВ передбачається ввідний автоматичний вимикач, прилад обліку електричної енергії, шини РЕ та N, а також пристрій повторного заземлення.

3.4 Вибір комутаційної та захисної апаратури

Комутаційна та захисна апаратура призначена для вмикання, вимикання, захисту і оперативного керування електричними колами ремонтної майстерні. Вибір апаратів здійснюється за номінальною напругою, робочим струмом, характером навантаження, здатністю вимикати струми короткого замикання та умовами експлуатації у виробничому середовищі.

Номинальний струм автоматичного вимикача повинен задовольняти умову:

$$I_{\text{роб}} \leq I_{\text{н.авт}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (3.9)$$

де $I_{\text{роб}}$ - робочий струм лінії, А;

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

$I_{\text{доп}}$ - допустимий тривалий струм кабельної лінії, А.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Для ввідної лінії з розрахунковим струмом 69,3 А приймається ввідний автоматичний вимикач номіналом 100 А. Для силового щита технологічного обладнання приймається автоматичний вимикач 63 А, для зварювальної дільниці - 40 А, для груп світлодіодного освітлення - 16 А, для розеткових мереж - 16 А з пристроями захисного відключення на струм витoku 30 мА.

Орієнтовний вибір захисної апаратури наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Вибір комутаційної та захисної апаратури

Позначення	Ділянка мережі	Розрахунковий струм, А	Прийнятий апарат	Номінал, А	Примітка
QF1	Ввід ГРЩ	69,3	автоматичний вимикач 3Р	100	ввідний захист
QF2	ЩС-1 силове обладнання	55,2	автоматичний вимикач С	63	верстати, компресор
QF3	ЩЗВ зварювальна дільниця	24-32	автоматичний вимикач С/Д	40	з урахуванням пускових режимів
QF4	Компресорна установка	11-14	автоматичний вимикач С	25	електродвигун
QF5	Підйомник або кран-балка	6-8	автоматичний вимикач С	16	електропривод
QF6	Групи загального освітлення	7-10	автоматичний вимикач В	16	3 групи
QF7	Місцеве освітлення	3-5	автоматичний вимикач В	10	робочі місця
QF8	Розеткові групи	до 16	автомат С + ПЗВ	16	ПЗВ 30 мА

Усі щити, встановлені у виробничому приміщенні, повинні мати ступінь захисту оболонки не нижче IP54. Для розеткових мереж, переносного електроінструменту, допоміжних споживачів та місцевого освітлення доцільно застосовувати пристрої захисного відключення. Такий підхід знижує ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції або роботи обладнання в умовах підвищеної вологості та запиленості.

3.5 Розробка схеми розподілу електроенергії

Схема розподілу електричної енергії повинна забезпечувати надійне живлення електроприймачів, рівномірний розподіл навантаження між фазами, селективність захисту та зручність експлуатації. Для ремонтної майстерні приймається радіальна схема з окремими відхідними лініями від головного розподільчого щита до групових щитів і технологічних споживачів.

Основна ввідна кабельна лінія від трансформаторної підстанції до ГРЩ вибирається за розрахунковим струмом 69,3 А. З урахуванням умов прокладання та резерву за допустимим струмом приймається кабель АВВГнг-LS 4×25 мм² або кабель з мідними жилами ВВГнг-LS 5×16 мм². Для групових ліній силового обладнання приймаються кабелі ВВГнг-LS з мідними жилами перерізом 2,5-16 мм² залежно від потужності споживачів.

Перевірка втрати напруги у ввідній лінії виконується за формулою:

$$\Delta U\% = (\sqrt{3} \cdot I \cdot \rho \cdot l \cdot \cos\varphi) / (S \cdot U_n) \cdot 100 \%, \quad (3.10)$$

де I - струм лінії, А;

ρ - питомий опір матеріалу жили, Ом·мм²/м;

l - довжина лінії, м; S - переріз жили, мм²;

U_n - номінальна напруга мережі, В.

Для ввідної лінії приймаємо $I = 69,3$ А, $\rho = 0,028$ Ом·мм²/м для алюмінієвої жили, $l = 40$ м, $S = 25$ мм², $\cos\varphi = 0,78$, $U_n = 400$ В. Тоді:

$$\Delta U\% = (\sqrt{3} \cdot 69,3 \cdot 0,028 \cdot 40 \cdot 0,78) / (25 \cdot 400) \cdot 100 = 1,05 \, \%.$$

Отримана втрата напруги не перевищує допустимих значень для внутрішніх електричних мереж, тому вибраний переріз ввідного кабелю є прийнятним. Вибір основних кабельних ліній наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Вибір основних кабельних ліній ремонтної майстерні

Лінія	Споживач	Струм, А	Прийнятий кабель	Спосіб прокладання	Захист
-------	----------	----------	------------------	--------------------	--------

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк. 42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Л1	КТП - ГРЩ	69,3	АВВГнг-LS 4×25	лоток / труба	QF1 100 А
Л2	ГРЩ - ЩС-1	55,2	ВВГнг-LS 5×16	кабельний лоток	QF2 63 А
Л3	ГРЩ - ЩЗВ	24-32	ВВГнг-LS 5×6	відкрите прокладання в трубі	QF3 40 А
Л4	ГРЩ - ЩО	до 16	ВВГнг-LS 5×4	кабельний канал	QF6 16 А
Л5	Групи освітлення	7-10	ВВГнг-LS 3×2,5	труба / короб	В16
Л6	Розеткові групи	до 16	ВВГнг-LS 3×2,5	труба / короб	С16 + ПЗВ
Л7	Вентиляція, зарядні пристрої	до 16	ВВГнг-LS 3×2,5 або 5×2,5	кабельний канал	С16-С25

Для підвищення безпеки експлуатації кабельні лінії у виробничій зоні прокладаються у металевих лотках, трубах або захисних коробах. У місцях можливого механічного пошкодження передбачається додатковий захист кабелів. Розподіл однофазних освітлювальних і розеткових груп необхідно виконувати рівномірно між фазами А, В та С, що дозволяє зменшити перебіс фазних навантажень і втрати електричної енергії в мережі.

3.6 Проектування системи світлодіодного освітлення виробничого приміщення

Система світлодіодного освітлення ремонтної майстерні повинна забезпечувати нормативну освітленість робочих зон, рівномірний розподіл світлового потоку, зменшення засліплюючої дії та енергоефективну роботу протягом усього робочого часу. Для ремонтних і механічних дільниць приймається розрахункова освітленість $E_n = 400-500$ лк. У подальшому розрахунку приймаємо $E_n = 400$ лк для загального освітлення з доповненням місцевими світильниками на робочих місцях.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідний сумарний світловий потік визначається методом коефіцієнта використання світлового потоку:

$$\Phi \Sigma = (E_n \cdot S \cdot K_z \cdot z) / \eta_{\text{вик, лм}}, \quad (3.11)$$

де E_n - нормована освітленість, лк;

S - площа приміщення, м^2 ;

K_z - коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт нерівномірності;

$\eta_{\text{вик}}$ - коефіцієнт використання світлового потоку.

Для виробничого залу приймаємо $S = 330 \text{ м}^2$, $E_n = 400 \text{ лк}$, $K_z = 1,5$, $z = 1,1$, $\eta_{\text{вик}} = 0,62$. Тоді:

$$\Phi \Sigma = (400 \cdot 330 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / 0,62 = 351290 \text{ лм.}$$

Для загального освітлення приймаються промислові світлодіодні світильники потужністю 120 Вт зі світловим потоком $\Phi_1 = 15000 \text{ лм}$. Необхідна кількість світильників визначається за формулою:

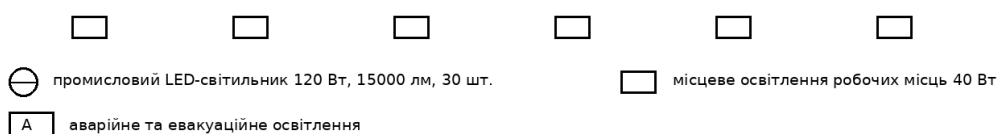
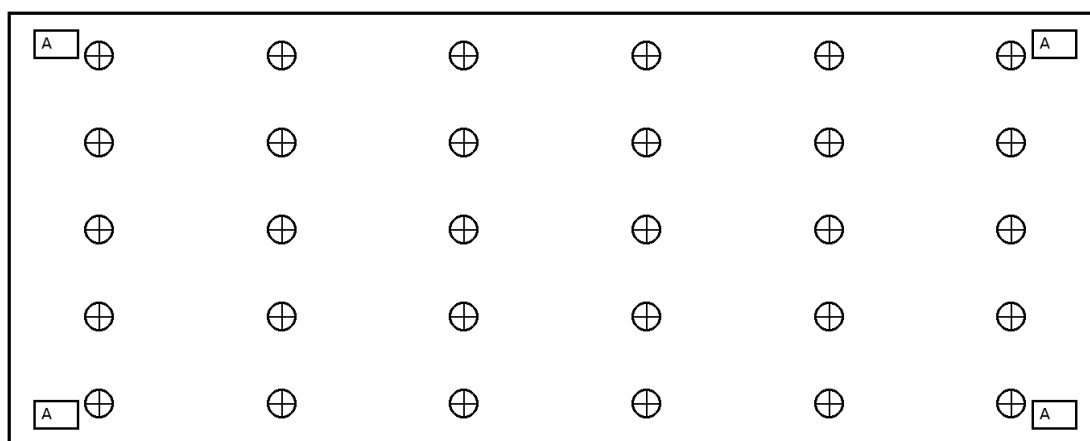
$$n = \Phi \Sigma / \Phi_1. \quad (3.12)$$

$$n = 351290 / 12000 = 29,2.$$

За результатами розрахунку приймаємо 30 світлодіодних світильників загального освітлення з урахуванням запасу, рівномірності розміщення та підвищених вимог до ремонтних зон. Світильники розташовуються у 5 рядів по 6 світильників. Схему розміщення світлодіодних світильників наведено на рис. 3.2.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виробничий зал ремонтної майстерні: орієнтовна площа 330 м²



3.2 - Схема розміщення світлодіодних світильників у виробничому приміщенні

Встановлена потужність загального світлодіодного освітлення становить:

$$P_{\text{заг.осв}} = n \cdot P_1 = 30 \cdot 120 = 3600 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кВт.} \quad (3.13)$$

Додатково передбачається місцеве освітлення робочих місць у кількості 12 світильників потужністю 40 Вт, аварійне освітлення у кількості 8 світильників 15 Вт та освітлення допоміжних зон потужністю 60 Вт . Загальна встановлена потужність освітлювальної системи становить:

$$P_{\text{осв}} = 3,6 + 12 \cdot 0,04 + 4 \cdot 0,015 + 6 + 0,06 = 4,50 \text{ кВт.} \quad (3.14)$$

З урахуванням додаткового резерву на зовнішні та допоміжні світильники для розрахунку електричних навантажень приймається встановлена потужність освітлення $P_{\text{осв}} = 4,4 \text{ кВт}$, що відповідає попередньо прийнятим вихідним даним. Основні параметри запроєктованої системи освітлення наведено в табл. 3.6.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 3.6

Основні параметри запроєктованої системи світлодіодного освітлення

Показник	Позначення	Одиниця	Значення	Примітка
Площа виробничого залу	S	м ²	330	розрахункова
Нормована освітленість	Ен	лк	400	загальне освітлення
Коефіцієнт запасу	Кз	-	1,5	виробниче приміщення
Кількість загальних LED-світильників	n	шт.	30	5 рядів по 6
Потужність одного світильника	P1	Вт	120	промисловий LED
Світловий потік одного світильника	Φ1	лм	12000	орієнтовно
Потужність загального освітлення	Pзаг.осв	кВт	3,6	без місцевого
Загальна потужність освітлення	Pосв	кВт	4,8	з резервом

Групи загального освітлення поділяються на три лінії для рівномірного розподілу навантаження між фазами. Місцеве освітлення робочих місць підключається окремими групами через автоматичні вимикачі та захисні пристрої. Аварійне та евакуаційне освітлення повинно мати автономне живлення, що забезпечує роботу після зникнення основного електроживлення.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розроблено проєктні рішення системи електропостачання ремонтної майстерні з ремонту мобільної

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сільськогосподарської техніки. Запропоновано радіальну структуру розподілу електричної енергії від головного розподільчого щита до окремих групових щитів силового обладнання, зварювальної дільниці, світлодіодного освітлення, допоміжних споживачів і розеткових мереж.

На основі вихідних даних визначено, що загальна встановлена потужність електроприймачів ремонтної майстерні становить приблизно 60,5 кВт. З урахуванням коефіцієнтів попиту розрахункова активна потужність дорівнює 35,55 кВт, реактивна потужність - 28,52 квар, а повна розрахункова потужність - 45,58 кВА. Розрахунковий струм ввідної лінії становить 69,3 А.

Для живлення майстерні обґрунтовано вибір трансформатора ТМГ-63/10/0,4 потужністю 63 кВА. Коефіцієнт його завантаження становить 0,72, що забезпечує допустимий режим роботи та резерв потужності для короточасних пускових навантажень. Вибрано основну комутаційну та захисну апаратуру: ввідний автоматичний вимикач 100 А, автоматичні вимикачі групових ліній 10-63 А, а для розеткових мереж і допоміжних споживачів - пристрої захисного відключення.

Виконано вибір кабельних ліній для основних ділянок мережі. Для ввідної лінії прийнято кабель АВВГнг-LS 4×25 мм², для силового щита - ВВГнг-LS 5×16 мм², для груп освітлення та розеткових мереж - ВВГнг-LS 3×2,5 мм². Перевірка ввідної лінії за втратою напруги показала $\Delta U = 1,05 \%$, що не перевищує допустимих значень.

Для виробничого приміщення запроєктовано систему світлодіодного освітлення на базі 30 промислових LED-світильників потужністю 120 Вт, місцевих світильників робочих місць та аварійного освітлення. Загальна встановлена потужність освітлювальної системи з резервом прийнята на рівні 4,5 кВт. Запропоновані технічні рішення забезпечують надійне електроживлення технологічного обладнання, підвищення енергоефективності майстерні та покращення умов праці персоналу.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

4.1 Аналіз енергоефективності систем електроспоживання

Підвищення енергоефективності системи електроспоживання ремонтної майстерні є одним із ключових завдань проєктування, оскільки виробничий об'єкт характеризується значною кількістю електроприймачів різного призначення. Основне навантаження формують металорізальні верстати, електрозварювальні апарати, компресорна установка, підйомний механізм, зарядні пристрої, ручний електроінструмент, вентиляційні установки та система освітлення. У попередніх розділах встановлено, що загальна встановлена потужність електроспоживачів майстерні становить орієнтовно 60–65 кВт, а встановлена потужність системи світлодіодного освітлення приймається на рівні 4–5 кВт.

Енергоефективність системи електроспоживання визначається не лише вибором економічних джерел світла, але й структурою розподілу електроенергії, правильним добором перерізів кабельних ліній, зниженням втрат у мережі, балансуванням фазних навантажень, застосуванням апаратів захисту з достатньою селективністю та впровадженням засобів автоматичного керування освітленням. Для ремонтної майстерні найбільш доцільними є технічні рішення, які не ускладнюють експлуатацію, але забезпечують помітне зниження витрат електричної енергії.

Основними напрямками підвищення енергоефективності системи електроспоживання є: зменшення встановленої потужності освітлювальної мережі шляхом застосування LED-світильників, поділ навантажень на функціональні групи, використання мідних кабелів із достатнім перерізом, зменшення довжини найбільш навантажених ліній, компенсація реактивної

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужності для електродвигунів, регулярний контроль стану контактних з'єднань і впровадження зонального керування освітленням.

Таблиця 4.1

**Основні технічні рішення для підвищення енергоефективності системи
електроспоживання**

Напрямок підвищення енергоефективності	Технічне рішення	Очікуваний результат
Освітлення виробничого приміщення	застосування промислових LED-світильників замість традиційних джерел світла	зниження споживання електроенергії на освітлення на 40–60 %
Розподіл електричних навантажень	окремі групові щити для силового обладнання, освітлення, вентиляції та допоміжних споживачів	підвищення надійності та спрощення експлуатації
Кабельні лінії	вибір перерізів за допустимим струмом, втратою напруги та умовами прокладання	зменшення втрат електроенергії та нагрівання кабелів
Електродвигуни	контроль коефіцієнта потужності та застосування компенсації реактивної потужності за потреби	зменшення струму навантаження і втрат у мережі
Керування освітленням	розподіл на зони, датчики присутності або освітленості в допоміжних приміщеннях	зниження тривалості роботи світильників без потреби
Експлуатаційний контроль	огляд контактів, перевірка нагрівання, контроль якості напруги	зменшення аварійності та непродуктивних втрат

Для оцінки впливу коефіцієнта потужності на струмове навантаження мережі розглянемо розрахункову активну потужність майстерні. З урахуванням коефіцієнтів попиту та режимів роботи обладнання приймаємо розрахункову активну потужність $P_p = 45,9$ кВт.

Струм трифазної мережі визначається за формулою:

$$I = P_p / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi), \text{ A.} \quad (4.1)$$

При напрузі $U = 0,38 \text{ кВ}$ та коефіцієнті потужності $\cos\varphi = 0,85$ струм навантаження становить:

$$I_1 = 45,9 / (\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85) = 82,1 \text{ A.} \quad (4.2)$$

За умови підвищення коефіцієнта потужності до $\cos\varphi = 0,95$ струм зменшується до:

$$I_2 = 45,9 / (\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95) = 73,5 \text{ A.} \quad (4.3)$$

Відносне зменшення струму становить приблизно 10,5 %. Оскільки втрати активної потужності у кабельних лініях пропорційні квадрату струму, зниження струму дозволяє зменшити втрати у мережі майже на 20 %. Це підтверджує доцільність контролю коефіцієнта потужності та правильного добору електродвигунів і апаратів керування.

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.} \quad (4.4)$$

Отже, підвищення енергоефективності системи електроспоживання ремонтної майстерні повинно розглядатися комплексно. Основний економічний ефект у межах даної роботи досягається за рахунок впровадження світлодіодного освітлення, але додаткове зменшення втрат забезпечується раціональною структурою електропостачання, якісним вибором кабельних ліній, апаратів захисту та організацією експлуатаційного контролю.

4.2 Використання світлодіодного освітлення у виробничих приміщеннях

Система освітлення ремонтної майстерні має забезпечувати безпечні умови праці, достатню видимість робочих поверхонь і рівномірний розподіл світлового потоку. Для ремонтних, слюсарних, зварювальних і механічних робіт потрібна підвищена якість освітлення, оскільки недостатня освітленість призводить до зростання втоми персоналу, зниження точності виконання операцій та підвищення ризику виробничого травматизму.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно до вимог до виробничого освітлення для ремонтних і механічних дільниць приймається нормована освітленість робочих зон на рівні 300–500 лк. Для розрахунку світлодіодної системи освітлення ремонтної майстерні приймаємо середнє нормативне значення $E_n = 400$ лк, площу виробничого залу $F = 330$ м², коефіцієнт запасу $k_z = 1,5$, коефіцієнт нерівномірності $z = 1,1$ та коефіцієнт використання світлового потоку $\eta_v = 0,65$.

Необхідний світловий потік освітлювальної установки визначається методом коефіцієнта використання:

$$\Phi_{\text{потр}} = (E_n \cdot F \cdot k_z \cdot z) / \eta_v, \text{ лм.} \quad (4.5)$$

Підставляючи прийняті значення, одержуємо:

$$\Phi_{\text{потр}} = (400 \cdot 330 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / 0,65 = 351290 \text{ лм.} \quad (4.6)$$

Для освітлення виробничого залу приймаються промислові LED-світильники потужністю 120 Вт зі світловим потоком 12000 лм. Мінімальна кількість світильників визначається за формулою:

$$n = \Phi_{\text{потр}} / \Phi_1. \quad (4.7)$$

$$n = 351290 / 12000 = 29.2 \text{ шт.} \quad (4.8)$$

З урахуванням рівномірності розміщення, наявності робочих зон біля верстатів, зварювальної дільниці та зони обслуговування техніки приймаємо 30 світлодіодні світильники потужністю 120 Вт. Загальна встановлена потужність системи загального LED-освітлення становить:

$$P_{\text{LED}} = n \cdot P_1 = 30 \cdot 0,12 = 3.6 \text{ кВт.} \quad (4.9)$$

Фактичний світловий потік прийнятої освітлювальної установки:

$$\Phi\Phi = n \cdot \Phi_1 = 30 \cdot 12000 = 360000 \text{ лм.} \quad (4.10)$$

Розрахункова освітленість при прийнятій кількості світильників становить:

$$E\Phi = (\Phi\Phi \cdot \eta_v) / (F \cdot k_z \cdot z), \text{ лк.} \quad (4.11)$$

$$E\Phi = (360000 \cdot 0,65) / (330 \cdot 1,5 \cdot 1,1) = 443 \text{ лк.} \quad (4.12)$$

Отримане значення освітленості відповідає межі рекомендованого діапазону 300–500 лк для ремонтних і механічних дільниць. Це є доцільним для

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

майстерні з ремонту мобільної техніки, оскільки в ній виконуються операції, що потребують високої точності та якісного освітлення робочих поверхонь.

Таблиця 4.2

Розрахунок параметрів світлодіодної системи освітлення ремонтної майстерні

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Площа виробничого залу	F	м ²	330
Нормована освітленість	E _н	лк	400
Коефіцієнт запасу	k _з	-	1,5
Коефіцієнт нерівномірності	z	-	1,1
Коефіцієнт використання світлового потоку	η _в	-	0,65
Потрібний світловий потік	Φ _{потр}	лм	351290
Потужність одного LED-світильника	P ₁	Вт	120
Світловий потік одного світильника	Φ ₁	лм	12000
Прийнята кількість світильників	n	шт.	30
Встановлена потужність LED-освітлення	PLED	кВт	3.6
Розрахункова освітленість	E _ф	лк	443

У виробничій майстерні доцільно передбачити поєднання загального, місцевого та аварійного освітлення. Загальне освітлення забезпечує рівномірний світловий фон у приміщенні, місцеве освітлення використовується біля верстатів, робочих постів і діагностичних місць, а аварійне та евакуаційне освітлення забезпечує безпечне залишення приміщення у разі зникнення основного живлення. Керування освітленням доцільно виконувати за зонами, що дозволить вимикати частину світильників у неробочих ділянках без погіршення умов праці в активних зонах.

4.3 Порівняння традиційних та світлодіодних джерел освітлення

Для обґрунтування вибору світлодіодного освітлення необхідно порівняти його з традиційними джерелами світла, які можуть застосовуватися у виробничих приміщеннях. До таких джерел належать лампи розжарювання, люмінесцентні лампи, ртутні та натрієві газорозрядні лампи. Їх основними недоліками є нижча світлова віддача, більші витрати електроенергії, короткий ресурс роботи, потреба у частішому технічному обслуговуванні та гірша якість світлового потоку.

Світлодіодні світильники мають низку переваг для умов ремонтної майстерні: високу світлову ефективність, малий час виходу на робочий режим, стійкість до частих вмикань, можливість зонального керування, відсутність пульсацій за якісного драйвера та тривалий ресурс експлуатації. Крім того, LED-світильники краще працюють в умовах виробничих приміщень, де можливі вібрації, пил і періодичне ввімкнення окремих зон освітлення.

Таблиця 4.3

Порівняння традиційних і світлодіодних джерел освітлення

Показник	Лампи розжарювання	Люмінесцентні лампи	Газорозрядні лампи	LED-світильники
Світлова віддача, лм/Вт	10–15	60–90	70–110	100–160
Ресурс роботи, год	1000–2000	8000–15000	12000–20000	50000–70000
Енергоефективність	низька	середня	середня	висока
Пусковий режим	миттєвий	залежить від ПРА	потребує прогріву	миттєвий
Якість керування	обмежена	середня	обмежена	висока
Обслуговування	часта заміна	періодична заміна ламп	заміна ламп і ПРА	мінімальне
Доцільність для майстерні	недоцільні	можливі, але менш ефективні	обмежено доцільні	найбільш доцільні

Для порівняння енергоспоживання приймаємо, що традиційна система освітлення забезпечує приблизно той самий рівень освітленості за рахунок світильників встановленою потужністю 240 Вт кожний. Для 34 світильників сумарна потужність традиційної системи становить:

$$P_{тр} = 30 \cdot 0,24 = 7,2 \text{ кВт.} \quad (4.13)$$

Встановлена потужність прийнятої LED-системи становить 3,6 кВт. Відносне зниження встановленої потужності освітлювальної установки визначається за формулою:

$$\delta P = (P_{тр} - P_{LED}) / P_{тр} \cdot 100 \%, \quad (4.14)$$

$$\delta P = (7,2 - 3,6) / 7,2 \cdot 100 = 50 \%. \quad (4.15)$$

Отже, використання світлодіодних світильників дозволяє знизити встановлену потужність освітлювальної мережі приблизно на 50 %. При цьому розрахункова освітленість залишається в нормативному діапазоні для ремонтних і механічних робіт, а ресурс роботи світильників зростає у декілька разів. Це зменшує не лише витрати електричної енергії, а й витрати на технічне обслуговування системи освітлення.

4.4 Розрахунок економії електричної енергії від впровадження LED-освітлення

Розрахунок економії електричної енергії виконується шляхом порівняння річного споживання традиційної системи освітлення та запропонованої світлодіодної системи. Для виробничої майстерні приймаємо тривалість роботи освітлення $t = 2200$ год/рік. Це відповідає експлуатації освітлення протягом робочих змін з урахуванням сезонного та ремонтного режимів роботи об'єкта.

Річне споживання електричної енергії традиційною системою освітлення визначається за формулою:

$$W_{тр} = P_{тр} \cdot t, \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.16)$$

$$W_{тр} = 7,2 \cdot 2200 = 15840 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.17)$$

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для світлодіодної системи враховуємо зональне керування та можливість вимикання частини світильників у неробочих зонах. Для цього вводиться коефіцієнт керування $k_{кер} = 0,90$. Річне споживання електроенергії LED-системою:

$$W_{LED} = P_{LED} \cdot t \cdot k_{кер}, \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.18)$$

$$W_{LED} = 3,6 \cdot 2200 \cdot 0,90 = 7128 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.19)$$

Річна економія електричної енергії становить:

$$\Delta W = W_{тр} - W_{LED}, \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.20)$$

$$\Delta W = 15840 - 7128 = 8712 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.21)$$

Для попередньої техніко-економічної оцінки приймаємо розрахункову вартість електричної енергії $C_e = 8,40$ грн/кВт·год. Річна грошова економія за рахунок зменшення споживання електроенергії визначається за формулою:

$$S_{ел} = \Delta W \cdot C_e, \text{ грн/рік.} \quad (4.22)$$

$$S_{ел} = 8712 \cdot 8,40 = 73180 \text{ грн/рік.} \quad (4.23)$$

Крім економії електроенергії, світлодіодне освітлення зменшує експлуатаційні витрати на заміну ламп, обслуговування пускорегулювальної апаратури та ремонт світильників. Для розрахунку приймаємо орієнтовну економію на технічному обслуговуванні $S_{обсл} = 7500$ грн/рік.

Таблиця 4.4

Розрахунок річної економії електричної енергії від впровадження LED-освітлення

Показник	Позначення	Одиниця	Значення
Потужність традиційної системи освітлення	$P_{тр}$	кВт	7,2
Потужність LED-системи освітлення	P_{LED}	кВт	3,6
Тривалість роботи освітлення	t	год/рік	2200
Коефіцієнт зонального керування	$k_{кер}$	-	0,90
Річне споживання традиційної системи	$W_{тр}$	кВт·год	15840
Річне споживання LED-системи	W_{LED}	кВт·год	7128
Річна економія електроенергії	ΔW	кВт·год	8712
Розрахункова вартість електроенергії	C_e	грн/кВт·год	8,40
Грошова економія електроенергії	$S_{ел}$	грн/рік	73180
Економія на обслуговуванні	$S_{обсл}$	грн/рік	7500

Загальний річний економічний ефект від впровадження LED-освітлення визначається як сума економії електроенергії та економії витрат на обслуговування:

$$Sp = Sel + Sobsl, \text{ грн/рік.} \quad (4.24)$$

$$Sp = 73180 + 7500 = 80680 \text{ грн/рік.} \quad (4.25)$$

Отже, річна економія електричної енергії становить 9874 кВт·год, а загальний річний економічний ефект з урахуванням зменшення витрат на технічне обслуговування дорівнює приблизно 90,4 тис. грн/рік. Це підтверджує доцільність заміни традиційних джерел світла на світлодіодні світильники у виробничому приміщенні ремонтної майстерні.

4.5 Техніко-економічне обґрунтування запропонованих проєктних рішень

Техніко-економічне обґрунтування виконується для оцінки доцільності впровадження запропонованих рішень з підвищення енергоефективності системи електроспоживання ремонтної майстерні. Основними заходами є впровадження промислових LED-світильників, зонального керування освітленням, розподіл навантажень за груповими щитами, вибір кабельних ліній із допустимими втратами напруги та забезпечення контролю стану електрообладнання.

Капітальні витрати на впровадження світлодіодної системи освітлення включають закупівлю світильників, монтажні роботи, кабельну продукцію, захисну апаратуру, елементи керування та пусконаладжувальні роботи. Орієнтовний склад витрат наведено в табл. 4.5.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Таблиця 4.5

**Орієнтовні капітальні витрати на впровадження LED-освітлення
ремонтної майстерні**

Найменування витрат	Кількість	Орієнтовна вартість, грн
Промислові LED-світильники 120 Вт	30 шт.	85000
Кабельна продукція та монтажні матеріали	комплект	22000
Автоматичні вимикачі, групові лінії, комутаційна апаратура	комплект	12000
Елементи зонального керування освітленням	комплект	14000
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	комплект	35000
Разом	-	168000

Загальні капітальні витрати на реалізацію заходу становлять:

$$K = 168000 \text{ грн.} \quad (4.26)$$

Строк простої окупності визначається відношенням капітальних витрат до річного економічного ефекту:

$$\text{Ток} = K / S_p, \text{ років.} \quad (4.27)$$

$$\text{Ток} = 168000 / 80680 = 2,08 \text{ року.} \quad (4.28)$$

Отриманий строк окупності менше двох років, що є прийнятним для виробничих об'єктів сільськогосподарських підприємств. Після завершення строку окупності система освітлення забезпечує щорічну економію електроенергії та зменшує витрати на обслуговування. Додатковими перевагами є покращення умов праці, підвищення безпеки виконання ремонтних робіт, зменшення навантаження на освітлювальну мережу та підвищення надійності експлуатації.

Таблиця 4.6

Узагальнені техніко-економічні показники запропонованого рішення

Показник	Одиниця	Значення
Встановлена потужність традиційного освітлення	кВт	7,2
Встановлена потужність LED-освітлення	кВт	3,6
Зниження встановленої потужності освітлення	%	50

Річна економія електроенергії	кВт·год/рік	8712
Грошова економія електроенергії	грн/рік	73180
Економія на технічному обслуговуванні	грн/рік	7500
Загальний річний економічний ефект	грн/рік	80680
Капітальні витрати	грн	168000
Строк простої окупності	років	2,08

Запропоновані технічні рішення узгоджуються з особливостями експлуатації ремонтної майстерні. Вони не потребують складної реконструкції всієї системи електропостачання, можуть бути реалізовані поетапно та забезпечують помітний енергетичний ефект. Найбільший внесок у зниження енергоспоживання забезпечує заміна традиційного освітлення на LED-світильники, а додаткове підвищення ефективності досягається за рахунок зонального керування, правильного вибору кабельних ліній і контролю режимів роботи електроприймачів.

Таким чином, впровадження світлодіодного освітлення та раціональної структури системи електроспоживання є технічно обґрунтованим і економічно доцільним рішенням для ремонтної майстерні мобільної техніки сільськогосподарського підприємства.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі розглянуто технічні рішення щодо підвищення енергоефективності системи електроспоживання ремонтної майстерні. Встановлено, що енергоефективність виробничого об'єкта залежить від правильного розподілу електричних навантажень, вибору кабельних ліній, контролю коефіцієнта потужності, зменшення втрат у мережі та застосування сучасних світлодіодних освітлювальних систем.

Виконано розрахунок світлодіодної системи освітлення виробничого приміщення площею 330 м². За нормованої освітленості 400 лк прийнято 30

промислові LED-світильники потужністю 120 Вт із загальною встановленою потужністю 3,6 кВт. Розрахункова освітленість становить 464 лк, що відповідає вимогам до ремонтних і механічних дільниць.

Проведено порівняння традиційної та світлодіодної систем освітлення. Встановлено, що заміна традиційних світильників установленою потужністю 7,2 кВт на LED-систему потужністю 3,6 кВт дозволяє знизити встановлену потужність освітлення на 50 %. Річна економія електричної енергії становить 8712 кВт·год, а загальний річний економічний ефект з урахуванням зменшення витрат на технічне обслуговування - 80680 грн/рік.

Орієнтовні капітальні витрати на впровадження LED-освітлення та елементів зонального керування становлять 168000 грн. Строк простої окупності запропонованого рішення дорівнює 2,08 року. Отримані результати підтверджують технічну та економічну доцільність впровадження світлодіодного освітлення і раціональних рішень з організації системи електроспоживання ремонтної майстерні.

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК РЕМОНТНОЇ МАЙСТЕРНІ

5.1 Аналіз умов праці та небезпечних факторів у ремонтній майстерні

Охорона праці під час експлуатації системи електроспоживання ремонтної майстерні є обов'язковою складовою проєктних рішень, оскільки виробничий об'єкт поєднує силове технологічне обладнання, зварювальні установки, компресорні агрегати, зарядні пристрої, розеткові мережі, вентиляційні установки та систему світлодіодного освітлення. У попередніх розділах встановлено, що живлення електроспоживачів майстерні здійснюється від трифазної мережі 380/220 В, 50 Гц, а загальна встановлена потужність електроприймачів становить приблизно 60-65 кВт. Такий рівень навантаження потребує правильного вибору апаратів захисту, кабельних ліній, заземлення та організації безпечної експлуатації електроустановок.

Умови праці у ремонтній майстерні характеризуються одночасною дією електричних, механічних, теплових, пожежонебезпечних та санітарно-гігієнічних факторів. До електричних факторів належать можливість ураження електричним струмом, виникнення коротких замикань, перевантаження кабельних ліній, пошкодження ізоляції та помилки під час обслуговування щитового обладнання. Механічні фактори пов'язані з роботою верстатів, підйомника або кран-балки, компресора та ручного електроінструменту. Додатковими факторами є зварювальне випромінювання, підвищений рівень шуму, запиленість повітря, наявність мастил і горючих матеріалів.

Особливу увагу необхідно приділяти безпеці системи освітлення. Недостатній рівень освітленості робочих зон підвищує ризик травмування персоналу, помилок під час виконання ремонтних операцій та погіршення якості робіт. Надмірна яскравість, засліплення або нерівномірність світлового потоку також створюють небезпечні умови. Тому проєктована світлодіодна система освітлення повинна забезпечувати освітленість ремонтних і механічних дільниць

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на рівні 300-500 лк, а аварійне та евакуаційне освітлення має гарантувати безпечне залишення приміщення при зникненні основного живлення.

Таблиця 5.1

**Небезпечні та шкідливі фактори під час експлуатації електроустановок
ремонтної майстерні**

Фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи зниження ризику
Електрична напруга 380/220 В	ВРУ, ГРЩ, силові щити, кабельні лінії, електродвигуни	ураження електричним струмом, коротке замикання	захисне заземлення, автоматичні вимикачі, ПЗВ, маркування кіл
Обертові та рухомі частини	верстати, компресор, підйомник, ручний інструмент	механічні травми, зтягування одягу, ушкодження рук	захисні кожухи, справні пускові пристрої, інструктаж персоналу
Зварювальне випромінювання та іскри	електрозварювальні апарати	опіки, ураження очей, займання матеріалів	захисні маски, екрани, спецодяг, очищення робочої зони
Підвищена запиленість і вологість	ремонтні операції, очищення агрегатів, виробниче середовище	зниження опору ізоляції, забруднення світильників	ступінь захисту IP44-IP54, вентиляція, періодичне очищення
Недостатня освітленість	несправність або неправильне розміщення світильників	помилки під час ремонту, травмування персоналу	LED-освітлення 300-500 лк, місцеве та аварійне освітлення
Пожежонебезпечні фактори	перевантаження мереж, зварювання, мастила, пил	пожежа, задимлення, пошкодження обладнання	автомати захисту, вогнегасники, контроль кабелів, пожежний інструктаж

Аналіз небезпечних факторів показує, що безпека електроустановок ремонтної майстерні повинна забезпечуватися комплексно. До складу такого комплексу входять технічні засоби захисту, правильна організація робочих

місць, регулярне технічне обслуговування, контроль стану кабельних ліній, справність захисних апаратів і навчання персоналу безпечним методам роботи.

5.2 Електробезпека під час експлуатації системи електроспоживання

Електробезпека ремонтної майстерні забезпечується правильним проєктуванням мережі 0,4 кВ, вибором апаратів захисту, застосуванням захисного заземлення, розподілом навантаження між фазами та дотриманням вимог Правил улаштування електроустановок. Оскільки у майстерні використовуються трифазні електроприймачі потужністю від 2,2 до 16 кВт, а також однофазні освітлювальні й розеткові групи, система електропостачання повинна мати чітке групування споживачів і окремий захист кожної лінії.

Головний розподільчий щит майстерні повинен бути встановлений у доступному для обслуговування, сухому та захищеному місці. Доступ до щитового обладнання дозволяється тільки персоналу, який має відповідну групу з електробезпеки. На дверцятах щитів необхідно передбачити попереджувальні написи, позначення напруги, схему живлення та маркування автоматичних вимикачів. Внутрішні з'єднання у щитах повинні бути виконані провідниками відповідного перерізу з надійним кріпленням контактів.

Корпуси електродвигунів верстатів, компресора, підйомника, зварювальних апаратів, металеві корпуси щитів, світильників і повітропроводів повинні бути приєднані до захисного РЕ-провідника. Наявність захисного провідника є обов'язковою умовою безпечної експлуатації електрообладнання, оскільки при пошкодженні ізоляції він забезпечує швидке спрацювання апаратів захисту та зменшує напругу дотику.

Для захисту групових ліній від перевантаження та короткого замикання застосовуються автоматичні вимикачі з номінальним струмом, узгодженим із перерізом кабелю та розрахунковим струмом навантаження. Для розеткових груп і переносного електроінструменту доцільно передбачати пристрої

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

захисного вимкнення зі струмом спрацювання 30 мА. Освітлювальні групи повинні мати окремий захист, що дозволяє виконувати ремонтні роботи без повного відключення силового обладнання.

Таблиця 5.2

Основні технічні заходи електробезпеки у ремонтній майстерні

Елемент системи	Основна небезпека	Проектний або експлуатаційний захід
ВРУ та ГРЩ	доступ до струмоведучих частин, коротке замикання	закриті металеві корпуси, автоматичний захист, маркування, обмеження доступу
Силові кабельні лінії	перегрів, пошкодження ізоляції, механічний вплив	вибір перерізу за струмом і втратами напруги, прокладання у лотках або трубах
Технологічне обладнання	напруга дотику на корпусі при пошкодженні ізоляції	приєднання до РЕ-провідника, перевірка заземлення, справні пускачі
Розеткові мережі	ураження струмом при роботі ручним інструментом	ПЗВ 30 мА, заземлювальні контакти, заборона пошкоджених подовжувачів
Система LED-освітлення	пошкодження драйверів, перегрів, зниження освітленості	окремі групові автомати, світильники IP44-IP54, періодичне очищення
Зарядні пристрої АКБ	іскроутворення, перегрів, неправильне підключення	захист лінії, вентиляція зони заряджання, контроль полярності

Перед виконанням ремонтних або налагоджувальних робіт на електрообладнанні необхідно відключити відповідну лінію, перевірити відсутність напруги, вивісити попереджувальний плакат і унеможливити випадкове повторне вмикання. Забороняється виконувати роботи під напругою без спеціального допуску, використовувати несправний інструмент, експлуатувати обладнання з відкритими клемними коробками та самовільно змінювати номінали автоматичних вимикачів.

5.3 Безпека експлуатації технологічного обладнання та світлодіодної системи освітлення

Безпечна експлуатація технологічного обладнання ремонтної майстерні залежить від відповідності електроприводів, пускозахисної апаратури та кабельних ліній умовам виробничого середовища. Токарні, свердлильні та фрезерні верстати повинні мати справні пускові пристрої, кнопки аварійної зупинки, захисні кожухи та надійне заземлення корпусів. Робота на верстатах допускається лише після перевірки кріплення заготовки, справності огорожень і відсутності сторонніх предметів у робочій зоні.

Електрозварювальні апарати створюють підвищену небезпеку через дію електричного струму, світлового випромінювання, високої температури та іскроутворення. Зварювальні роботи необхідно виконувати у спеціально відведений зоні, обладнаній вентиляцією, негорючими екранами та первинними засобами пожежогасіння. Корпус зварювального апарата повинен бути заземлений, а кабелі зварювального кола не повинні мати пошкодженої ізоляції.

Зарядні пристрої акумуляторних батарей слід розміщувати у зоні з достатньою вентиляцією, оскільки під час заряджання можливе виділення газів та підвищення температури батарей. Забороняється виконувати заряджання поряд із відкритим полум'ям, зварювальними роботами або легкозаймистими матеріалами. Підключення акумуляторів повинно виконуватися з дотриманням полярності та вимог виробника зарядного обладнання.

Система світлодіодного освітлення має забезпечувати нормативний рівень освітленості і не створювати додаткових ризиків для персоналу. Світильники у виробничих зонах повинні мати механічно міцний корпус, захист від пилу та вологи, рівномірний розподіл світлового потоку та відсутність засліплення. Для ремонтного залу доцільним є використання промислових LED-світильників потужністю 120 Вт із розміщенням у декілька рядів, що забезпечує рівномірність освітлення робочих поверхонь.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Вимоги безпечної експлуатації основних груп обладнання

Група обладнання	Основні вимоги безпеки
Металорізальні верстати	справні пускові пристрої, захисні кожухи, заземлення корпусу, аварійна зупинка
Електрозварювальні апарати	заземлення, справна ізоляція кабелів, захисний щиток, вентиляція, віддалення горючих матеріалів
Компресорна установка	контроль тиску, захист електродвигуна, справний ресивер, відсутність витоків повітря
Підйомник або кран-балка	перевірка гальм, кінцевих вимикачів, тросів, заборона перевантаження
Зарядні пристрої АКБ	вентиляція, контроль полярності, заборона іскроутворення, справність кабелів
LED-світильники	ступінь захисту не нижче IP44, відсутність засліплення, очищення розсіювачів, справні драйвери

Рациональне розміщення світильників і правильний вибір потужності освітлювального обладнання зменшують втому зору, підвищують точність ремонтних операцій та знижують ризик виробничого травматизму. Аварійне та евакуаційне освітлення повинно автоматично вмикатися при зникненні основної напруги і забезпечувати орієнтацію персоналу на шляхах виходу з приміщення.

5.4 Пожежна безпека системи електроспоживання ремонтної майстерні

Ремонтна майстерня належить до виробничих приміщень, у яких пожежна небезпека формується електричними мережами, зварювальними роботами, наявністю мастильних матеріалів, пилу, дерев'яних елементів тари та можливим перегрівом електрообладнання. Основними причинами пожеж в електроустановках є короткі замикання, перевантаження кабельних ліній, поганий контакт у з'єднаннях, несправність електродвигунів, експлуатація пошкоджених подовжувачів і порушення правил виконання зварювальних робіт.

Для зменшення пожежного ризику кабельні лінії повинні прокладатися з урахуванням допустимого струмового навантаження, способу прокладання та умов охолодження. У місцях можливого механічного пошкодження кабелі необхідно захищати металевими трубами, лотками або коробами. З'єднання проводів повинні виконуватися у розподільчих коробках або щитовому обладнанні з використанням надійних клемних з'єднань. Скручування провідників без відповідного затискача не допускається.

Електрозварювальні роботи повинні проводитися лише після очищення робочої зони від горючих матеріалів. Поруч із місцем зварювання мають бути наявні первинні засоби пожежогасіння. Для гасіння електрообладнання, що перебуває під напругою, доцільно використовувати порошкові або вуглекислотні вогнегасники. Використання води для гасіння електроустановок під напругою не допускається.

Система світлодіодного освітлення має меншу пожежну небезпеку порівняно з традиційними лампами розжарювання, оскільки LED-світильники мають нижчу робочу температуру та менше енергоспоживання. Проте їх драйвери, клемні з'єднання та корпуси також потребують періодичного огляду. Світильники не повинні бути закриті горючими матеріалами або встановлені з порушенням тепловідведення.

Таблиця 5.4

Основні заходи пожежної безпеки для системи електроспоживання майстерні

Ділянка	Пожежонебезпечний фактор	Захід безпеки
Кабельні лінії	перегрів ізоляції, коротке замикання	вибір перерізу за струмом, автоматичний захист, прокладання у лотках
ГРЩ та групові щити	поганий контакт, перегрів, іскріння, апаратів	підтягування контактів, очищення від пилу, закритий корпус

Продовження табл. 5.4

Зварювальна дільниця	іскри, розплавлений метал, висока температура	екрани, очищення зони, вогнегасник, дозвіл на вогневі роботи
Зарядна зона АКБ	іскроутворення, виділення газів	вентиляція, заборона відкритого полум'я, контроль зарядного струму
Система освітлення	перегрів драйверів або клем	використання сертифікованих LED-світильників, огляд і очищення
Виробниче приміщення	наявність мастил і горючих матеріалів	порядок зберігання, евакуаційні проходи, первинні засоби пожежогасіння

Для забезпечення пожежної безпеки у майстерні необхідно підтримувати вільними евакуаційні проходи, справність аварійного освітлення, наявність плану евакуації та доступність первинних засобів пожежогасіння. Персонал повинен проходити первинний і періодичний протипожежний інструктаж, а також знати порядок відключення електроустановок у разі аварійної ситуації.

5.5 Організаційно-технічні заходи охорони праці та контроль стану електроустановок

Організація безпечної експлуатації системи електроспоживання ремонтної майстерні передбачає поєднання технічних, організаційних і профілактичних заходів. До технічних заходів належать справність електрообладнання, захисного заземлення, автоматичних вимикачів, ПЗВ, кабельних ліній, світильників і пускових пристроїв. До організаційних заходів належать інструктаж персоналу, допуск до роботи, ведення журналів огляду, регламентні перевірки та своєчасне усунення виявлених несправностей.

Персонал, який обслуговує електроустановки ремонтної майстерні, повинен мати відповідну кваліфікацію та групу з електробезпеки. Працівники, які використовують ручний електроінструмент, зарядні пристрої, зварювальне обладнання або обслуговують світильники, повинні пройти інструктаж з

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

охорони праці, пожежної безпеки та правил надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Контроль технічного стану електроустановок необхідно виконувати регулярно. Особливу увагу слід приділяти вимірюванню опору ізоляції кабельних ліній, перевірці безперервності захисного провідника, справності заземлювальних з'єднань, працездатності автоматичних вимикачів і пристроїв захисного вимкнення. Результати оглядів і вимірювань повинні фіксуватися у журналі технічного обслуговування.

Таблиця 5.5

Регламент контролю безпечного стану електроустановок ремонтної майстерні

Вид контролю	Періодичність	Зміст перевірки
Візуальний огляд щитового обладнання	щомісяця	стан корпусів, маркування, відсутність перегріву, цілісність дверцят
Перевірка кабельних ліній	1 раз на 6 місяців	стан ізоляції, кріплення, відсутність механічних пошкоджень
Перевірка захисного заземлення	1 раз на рік	безперервність РЕ-провідника, стан контактних з'єднань
Перевірка ПЗВ і автоматичних вимикачів	1 раз на 6 місяців	тестове спрацювання, відповідність номіналів, відсутність перегріву
Огляд LED-світильників	1 раз на 3 місяці	чистота розсіювачів, справність драйверів, відсутність мерехтіння
Перевірка аварійного освітлення	щоквартально	автоматичне вмикання, час автономної роботи, освітлення шляхів евакуації
Інструктаж персоналу	первинний і повторний	правила роботи з електрообладнанням, пожежна безпека, дії при аварії

У разі виявлення пошкодженої ізоляції, нагрівання кабелів, іскріння контактів, несправності автоматичних вимикачів, мерехтіння світильників або стороннього запаху від електрообладнання експлуатацію відповідної лінії необхідно негайно припинити до усунення несправності. Забороняється самовільно відновлювати роботу обладнання після аварійного вимкнення без встановлення причини спрацювання захисту.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропоновані організаційно-технічні заходи забезпечують безпечну експлуатацію системи електроспоживання ремонтної майстерні, зменшують ризик травмування персоналу, підвищують пожежну безпеку та підтримують працездатність електрообладнання у виробничих умовах.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки експлуатації електроустановок ремонтної майстерні з ремонту мобільної сільськогосподарської техніки. Визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, які виникають під час роботи технологічного обладнання, системи електропостачання, зварювальних установок, зарядних пристроїв і світлодіодної системи освітлення.

Обґрунтовано технічні заходи електробезпеки, серед яких застосування захисного заземлення, автоматичних вимикачів, пристроїв захисного вимкнення, правильне маркування щитового обладнання, вибір кабельних ліній за допустимим струмом і захист розеткових мереж. Встановлено, що для виробничих умов майстерні необхідно використовувати електрообладнання зі ступенем захисту не нижче IP44-IP54.

Розглянуто вимоги безпечної експлуатації технологічного обладнання та LED-освітлення. Показано, що світлодіодна система освітлення не лише зменшує споживання електричної енергії, але й покращує умови праці за рахунок забезпечення нормативної освітленості робочих зон. Окремо визначено заходи пожежної безпеки, регламент технічного обслуговування та порядок контролю справності електроустановок.

Отже, дотримання запропонованих заходів охорони праці забезпечує безпечну експлуатацію системи електроспоживання ремонтної майстерні, зменшує ризик аварійних ситуацій, підвищує надійність роботи електрообладнання та створює належні умови для виконання ремонтних робіт.

					02.02.KP.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

					02.02.КР.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено проєктні рішення системи електроспоживання ремонтної майстерні з ремонту мобільної техніки сільськогосподарського підприємства з впровадженням світлодіодного освітлення. Робота спрямована на підвищення надійності електропостачання, енергоефективності виробничого об'єкта та безпечності експлуатації електроустановок.

У першому розділі виконано аналіз виробничого об'єкта, складу технологічного обладнання та умов експлуатації електроустановок. Встановлено, що ремонтна майстерня ПрАТ «Миронівський хлібопродукт» є виробничим об'єктом із значним рівнем електричних навантажень, які формуються металорізальними верстатами, зварювальними апаратами, компресорною установкою, підйомним обладнанням, зарядними пристроями, розетковими мережами та системою освітлення. Загальна встановлена потужність електроспоживачів прийнята на рівні 60-65 кВт.

У другому розділі виконано математичне моделювання та розрахунок електричних навантажень ремонтної майстерні. Визначено встановлену потужність основних груп електроспоживачів, розрахункові коефіцієнти попиту та використання, максимальні навантаження, струми навантаження електричної мережі, перерізи кабельних ліній і втрати електричної енергії. Отримані результати стали основою для подальшого вибору джерела живлення, розподільчих щитів, комутаційної апаратури та кабельних ліній.

У третьому розділі розроблено систему електропостачання ремонтної майстерні. Запропоновано структуру електропостачання від зовнішньої мережі 0,4 кВ через вузол комерційного обліку, ввідно-розподільчий пристрій і головний розподільчий щит до групових щитів силового обладнання, освітлення, вентиляції та допоміжних споживачів. Обґрунтовано вибір трансформатора ТМГ-63/10/0,4 обладнання, апаратів захисту та кабельних ліній. Розроблена

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

схема забезпечує надійний розподіл електроенергії між основними технологічними зонами майстерні.

У четвертому розділі розглянуто технічні рішення щодо підвищення енергоефективності системи електроспоживання. Основним напрямом зниження витрат електроенергії визначено впровадження світлодіодного освітлення у виробничому приміщенні. Проведено порівняння традиційних і LED-джерел світла, виконано розрахунок економії електричної енергії та техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень. Встановлено, що використання LED-світильників дозволяє зменшити встановлену потужність освітлювальної системи, скоротити експлуатаційні витрати та забезпечити нормативну освітленість робочих зон. Термін окупності 2,08 року.

У п'ятому розділі розроблено заходи з охорони праці та безпеки експлуатації електроустановок ремонтної майстерні. Визначено основні небезпечні фактори, пов'язані з роботою мережі 380/220 В, технологічного обладнання, зварювальних апаратів, зарядних пристроїв і системи освітлення. Запропоновано заходи електробезпеки, пожежної безпеки, безпечної експлуатації світлодіодного освітлення та регламент технічного контролю електрообладнання.

Отже, мету кваліфікаційної роботи досягнуто. Розроблені проєктні рішення системи електроспоживання ремонтної майстерні з використанням світлодіодного освітлення є технічно обґрунтованими, енергоефективними та придатними для практичного впровадження у виробничих умовах сільськогосподарського підприємства.

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження Правил улаштування електроустановок : наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0476732-17>
2. Правила улаштування електроустановок : офіційна сторінка Міністерства енергетики України. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravyla-ulashtuvannya-elektroustanovok>
3. Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1143-06>
4. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Комітету по нагляду за охороною праці України від 09.01.1998 № 4 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98>
5. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2
6. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення : електронна версія документа. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dbn_v_2.5-28_2018.pdf
7. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця (EN 12464-1:2011, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71838
8. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця : електронна версія документа. URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/%D0%A1%D0%B2%D1>

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

[%96%D1%82%D0%BB%D0%BE%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BE%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F.%20%D0%9E%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%87%D0%B8%D1%85%20%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%86%D1%8C.%20%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0%201.%20%D0%92%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%80%D1%96%D1%88%D0%BD%D1%96%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%87%D1%96%20%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%86%D1%8F.pdf](#)

9. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, забезпечувані кожухами (Код IP) (EN 60529:1991, IDT; IEC 60529:1989, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=81152

10. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, забезпечувані кожухами (Код IP) : електронна версія документа. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20EN%2060529_2018%20%D0%A1%D1%82%D1%83%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D1%96%20%D0%B7%D0%B0%D1%85%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%83%2C%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%87%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%96%20%D0%BA%D0%BE%D0%B6%D1%83%D1%85%D0%B0%D0%BC%D0%B8%20%28%D0%9A%D0%BE%D0%B4%20IP%29.pdf

11. ДСТУ HD 60364-5-52:2021. Низьковольтні електричні установки. Частина 5-52. Вибирання та монтування електричного устаткування. Системи електропроводки (HD 60364-5-52:2011, IDT; IEC 60364-5-52:2009, MOD). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94397

12. ДСТУ HD 60364-5-52:2021. Низьковольтні електричні установки. Частина 5-52. Вибирання та монтування електричного устаткування. Системи електропроводки : електронна версія документа.

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

URL: https://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTY_ALL/DSTU5/dstu_HD_60364-5-52-2021.pdf

13. ДСТУ EN IEC 61439-1:2022. Устаткування розподілення та керування комплектне низьковольтне. Частина 1. Загальні правила (EN IEC 61439-1:2021, IDT; IEC 61439-1:2020, IDT).

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=102178

14. ДСТУ EN IEC 60598-1:2022. Світильники. Частина 1. Загальні вимоги та випробування (EN IEC 60598-1:2021, IDT; IEC 60598-1:2020, IDT).

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=103679

15. ДСТУ EN 60204-1:2019. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги (EN 60204-1:2018, IDT; IEC 60204-1:2016, MOD).

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88634

16. ДСТУ EN 50110-1:2019. Експлуатування електроустановок. Частина 1. Загальні вимоги (EN 50110-1:2013, IDT).

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=86316

17. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT).

URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90178

18. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання : електронна версія документа.

URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_50001_2020.pdf

19. ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. URL: <https://www.iso.org/standard/69426.html>

20. International Energy Agency. Targeting 100% LED lighting sales by 2025. Paris : IEA, 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/targeting-100-led-lighting-sales-by-2025>

21. International Energy Agency. Energy Efficiency 2025. Paris : IEA, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025>

					02.02.KP.2607”С”.25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

22. International Energy Agency. The next wave of LED lighting: smarter, circular and more efficient. Paris : IEA, 2026.
URL: <https://www.iea.org/commentaries/the-next-wave-of-led-lighting-smarter-circular-and-more-efficient>

23. CIE S 017/E:2020. ILV: International Lighting Vocabulary. 2nd ed. Vienna : International Commission on Illumination, 2020.
URL: <https://cie.co.at/publications/international-lighting-vocabulary>

24. Schneider Electric. Electrical Installation Guide according to IEC international standards. URL: <https://www.se.com/ww/en/work/products/product-launch/electrical-installation-guide/>

25. Schneider Electric. Electrical Installation Guide Wiki.
URL: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Main_Page

26. ABB. Guidelines to the construction of a low-voltage assembly complying with the Standards IEC 61439 Part 1 and Part 2. Technical Application Papers No. 11.
URL: <https://library.e.abb.com/public/105430996deb410f9afccfd479126026/1SDC007110G0202.pdf>

27. Signify. Philips CoreLine Highbay Gen5 : product family.
URL: https://www.signify.com/global/prof/indoor-luminaires/high-bay-and-low-bay/high-bay/philips-coreline-highbay-gen5/911401629408_EU/product

28. ТОВ «НВФ “Урожай”» : офіційний сайт МХП.
URL: <https://mhp.com.ua/uk/tov-nvf-urozhai>

29. МХП. Про компанію : офіційний сайт.
URL: <https://mhp.com.ua/uk/pro-kompaniiu>

ДОДАТКИ

Додаток А1

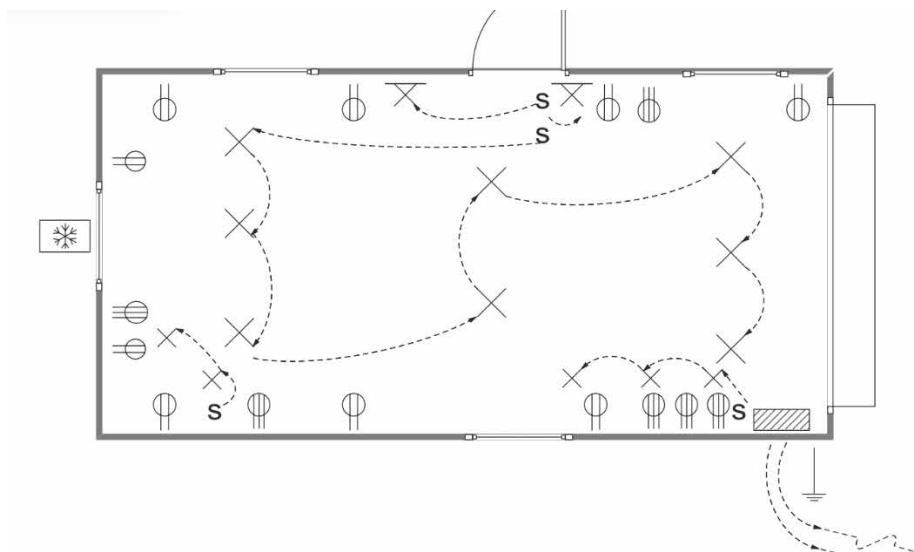


Рис. А1. План розміщення технологічного обладнання та освітлення
ремонтної майстерні

					02.02.КР.2607"С".25.10.30.011.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

