

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроенергетики

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____Сергій ЛЕБЕДКА

" ____ " _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітньо-професійної програми «Електротехнічні системи
електроспоживання»

на тему: "Проектування системи електропостачання навчальних майстерень"

Здобувач групи ЕТ.м-31 Кирило Вікторович ТИМОФЄЄВ

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

(підпис)

_____Кирило ТИМОФЄЄВ
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник канд. фіз.-мат. наук, доцент Михайло ПЕТРОВСЬКИЙ _____

АНОТАЦІЯ

с. 79, рис. 2, табл. 1.

Бібліографічний опис: Тимофеев К.В. Проектування системи електропостачання навчальних майстерень: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра ; спец. 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / наук. кер. М.В. Петровський. Суми : Сумський державний університет, 2024. 79 с.

Ключові слова: електропостачання, навчальні майстерні, електрообладнання, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, захисна апаратура, електробезпека, компенсація реактивної потужності, освітлювальна установка.

Power supply, training workshops, electrical equipment, electrical loads, transformer substation, protective equipment, electrical safety, reactive power compensation, lighting installation.

Об'єкт дослідження: система електропостачання навчальних майстерень.

Короткий огляд

Проведено розрахунок електричних параметрів системи електропостачання навчальних майстерень. В роботі розраховані електричні навантаження, проведено вибір силового трансформатора та комутаційної апаратури. Виконано розрахунок і вибір перерізу кабельних ліній. Розроблено систему освітлення та захисного заземлення. Здійснено техніко-економічне обґрунтування проекту. Запропоновані технічні рішення забезпечують надійне та енергоефективне електропостачання технологічного обладнання при дотриманні вимог електробезпеки. Впровадження проекту дозволить досягти річної економії електроенергії 29400 кВт·год при терміні окупності 3,2 роки.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 3 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АВ - автоматичний вимикач

АСКОЕ - автоматизована система комерційного обліку електроенергії

ВН - висока напруга

ДБН - державні будівельні норми

КЗ - коротке замикання

КЛ - кабельна лінія

КТП - комплектна трансформаторна підстанція

КУ - конденсаторна установка

НН - низька напруга

ПГВ - підстанція глибокого вводу

ПУЕ - правила улаштування електроустановок

РП - розподільний пункт

РЩ - розподільний щит

СЕП - система електропостачання

ТП - трансформаторна підстанція

ТМ - трансформатор масляний

I_n - номінальний струм, А

I_p - розрахунковий струм, А

K_v - коефіцієнт використання

K_z - коефіцієнт завантаження

K_p - коефіцієнт попиту

P - активна потужність, кВт

Q - реактивна потужність, квар

S - повна потужність, кВА

U - напруга, В

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності

η - коефіцієнт корисної дії

ρ - питомий опір, Ом·м.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 4 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО | 9 |
| 1.1 Короткий опис технологічних процесів..... | 9 |
| 1.2 Загальні відомості про навантаження підприємств | 11 |
| 1.3 Загальні відомості про цехові навантаження..... | 12 |
| 2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ МАЙСТЕРЕНЬ | 14 |
| 2.1 Розрахунок освітлення | 14 |
| 2.2 Електротехнічний розрахунок освітлювальної мережі робочого та аварійного освітлення за втратою напруги | 16 |
| 3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ МАЙСТЕРНІ..... | 19 |
| 3.1 Визначення розрахункового силового навантаження на першому рівні електропостачання | 19 |
| 3.2 Визначення розрахункового силового навантаження на другому рівні електропостачання | 22 |
| 3.3 Визначення розрахункового силового навантаження на третьому рівні електропостачання | 25 |
| 3.4 Розрахунок навантаження загального електричного освітлення майстерні..... | 27 |
| 4. ВИБІР НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРА ЦЕХОВОЇ ПІДСТАНЦІ..... | 31 |
| 4.1 Вибір силового трансформатора для цеху | 31 |
| 4.2 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ..... | 33 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------|---------|--------|------|---|--|--|-------|-------|--------|--|--|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум | Підпис | Дата | Проектування системи електропостачання навчальних майстерень. Пояснювальна записка | | | Лист. | Аркуш | Листів | | |
| Розроб. | Тимофеев К.В. | | | | | | | | | | | |
| Перевір. | Петровський | | | | | | | | | | | |
| Консульт. | О.М.Маценко | | | | | | | | | | | |
| Н. Контр. | Петровський | | | | | | | | | | | |
| Затверд. | М.В. Лебедка.С.М. | | | | | | | | | | | |
| | | | | | СумДУ, ЕТ.М-31 | | | | | | | |

| | |
|---|----|
| 5. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ..... | 37 |
| 5.1 Вибір перерізу кабельної лінії напругою 10 кВ..... | 37 |
| 5.1.1 Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом | 39 |
| 5.1.2 Перевірка перерізу кабелю за максимальним режимом. | 41 |
| 5.1.3 Перевірка перерізу кабелю на термічну стійкість | 43 |
| 5.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою до 1 кВ | 46 |
| 5.2.1 Вибір перерізу кабелю | 46 |
| 5.2.2 Вибір шинопровода | 48 |
| 5.2.3 Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ .. | 48 |
| 6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ | 51 |
| 6.1 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання..... | 51 |
| 6.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання..... | 52 |
| 7. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ | 55 |
| 7.1 Вибір автоматичних вимикачів | 55 |
| 7.1.1 Вибір автоматів живильної мережі цеху | 55 |
| 7.1.2 Вибір автоматів розподільної мережі цеху..... | 57 |
| 7.2 Вибір рубильників..... | 59 |
| 7.3 Узгодження вибраного перерізу провідників електричної мережі з вибраними апаратами захисту | 61 |
| 8. НАУКОВА ЧАСТИНА..... | 64 |
| 9. ОХОРОНА ПРАЦІ | 66 |
| 9.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів..... | 66 |
| 9.2 Розрахунок заземлюючого пристрою цеху | 67 |
| 10. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 70 |
| ВИСНОВКИ..... | 72 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 73 |
| Додаток А..... | 76 |
| Додаток Б | 77 |
| Додаток В..... | 78 |
| Додаток Г | 79 |

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток промисловості та освіти вимагає надійного та ефективного електропостачання навчальних закладів, зокрема їх виробничих підрозділів – навчальних майстерень. Забезпечення якісного електропостачання є критично важливим для безпечного функціонування технологічного обладнання та проведення практичних занять.

Навчальні майстерні відіграють ключову роль у підготовці кваліфікованих фахівців, забезпечуючи формування практичних навичок роботи з різноманітним електромеханічним обладнанням. Це вимагає створення надійної системи електропостачання з урахуванням специфіки навчального процесу.

Особливої актуальності набуває питання енергоефективності систем електропостачання навчальних майстерень. Впровадження сучасних енергозберігаючих технологій та оптимізація режимів роботи електрообладнання дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати.

Важливим аспектом є забезпечення якості електроенергії та надійності електропостачання навчальних майстерень. Це передбачає правильний вибір перерізів провідників, комутаційної апаратури та засобів захисту від аварійних режимів.

Питання електробезпеки при експлуатації електроустановок навчальних майстерень потребує особливої уваги, оскільки пов'язане з безпекою учнів та викладачів. Це вимагає впровадження сучасних систем захисного заземлення та інших засобів електрозахисту.

Впровадження автоматизованих систем керування електроспоживанням дозволяє оптимізувати режими роботи електрообладнання та знизити втрати електроенергії. Це є важливим фактором підвищення енергоефективності навчальних закладів.

Модернізація систем електропостачання навчальних майстерень з використанням сучасного обладнання та технологій smart grid відкриває нові можливості для підвищення якості практичної підготовки фахівців.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка надійної та енергоефективної системи електропостачання навчальних майстерень із забезпеченням необхідної якості електроенергії та електробезпеки. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розрахувати електричні навантаження;
- вибрати оптимальні параметри трансформаторної підстанції;
- розробити схему електропостачання;
- вибрати комутаційну апаратуру та засоби захисту;
- розрахувати системи освітлення та заземлення.

Об'єкт дослідження: система електропостачання навчальних майстерень.

Предмет дослідження: методи розрахунку та вибору параметрів системи електропостачання навчальних майстерень.

Практичне значення роботи полягає в розробці конкретних технічних рішень з модернізації системи електропостачання навчальних майстерень, що забезпечить надійне та енергоефективне електропостачання технологічного обладнання.

Теоретичне значення роботи полягає в систематизації та узагальненні методів розрахунку електричних навантажень та вибору параметрів системи електропостачання навчальних майстерень.

Гіпотеза дослідження. Впровадження сучасних технічних рішень при модернізації системи електропостачання навчальних майстерень дозволить підвищити надійність електропостачання та знизити експлуатаційні витрати.

Новизна роботи полягає в комплексному підході до модернізації системи електропостачання з використанням сучасного енергоефективного обладнання та засобів автоматизації.

Методи дослідження. В процесі написання магістерської роботи була використана система загальнонаукових та спеціальних емпіричних і теоретичних методів дослідження. Також використовувалися такі емпіричні методи, як, опис, порівняння та узагальнення.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Короткий опис технологічних процесів

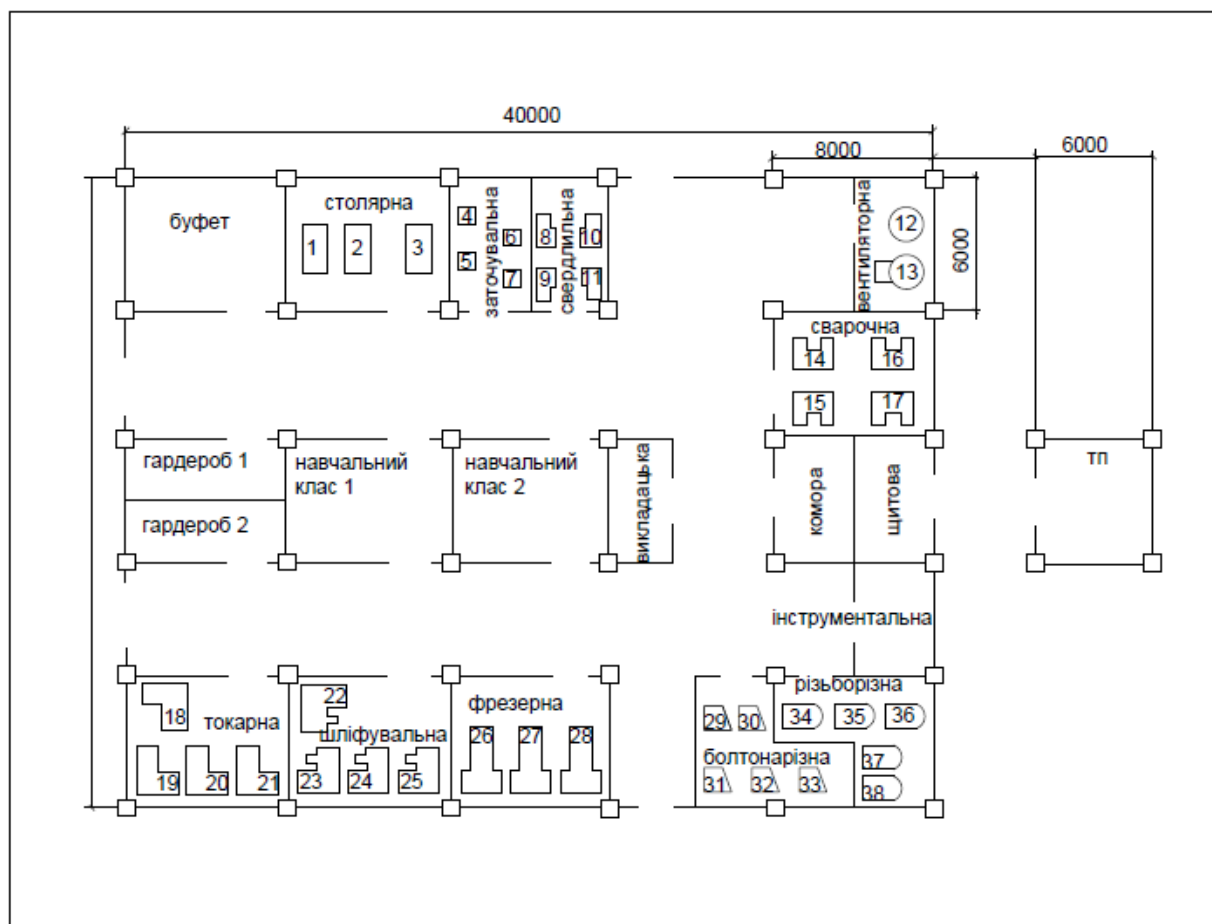


Рисунок 1.1 – План навчальної майстерні

Навчальні майстерні призначені для практичної підготовки здобувачів освіти та є невід'ємною частиною навчально-матеріальної бази підприємства. Основний технологічний процес включає механічну обробку деталей на металорізальних верстатах різного призначення. За даними П.О. Василяги [3] технологічний процес починається з деревообробки на спеціалізованих верстатах потужністю 6 кВт, де виконується первинна обробка заготовок.

Наступним етапом є механічна обробка на металорізальному обладнанні, що включає токарні верстати потужністю 3,8 кВт для точіння зовнішніх та внутрішніх поверхонь. Згідно досліджень після токарної обробки деталі надходять на фрезерні верстати потужністю 8 кВт для формування складних поверхонь.

| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|-------|------|----------|--------|------|
| | | | | |

MP 3.8.141.529 ПЗ

Арк.

9

На свердлильних верстатах потужністю 7,5 кВт виконується обробка отворів різного діаметру. За технологією, описаною, фінішна обробка здійснюється на круглошліфувальних верстатах потужністю 5,2 кВт для досягнення необхідної точності розмірів. Особливим елементом технологічного процесу є зварювальні роботи, що виконуються на спеціальних агрегатах потужністю 14 кВт·А. Як зазначає заточування інструменту здійснюється на заточних верстатах потужністю 2,3 кВт.

Для забезпечення необхідного мікроклімату використовується система вентиляції з витяжним вентилятором потужністю 4,5 кВт та припливним - 5 кВт. За дослідженнями, завершальним етапом є контроль якості виготовлених деталей. Особлива увага приділяється обробці різбових поверхонь на різьбонарізних верстатах потужністю 8,1 кВт. Для виготовлення кріпильних елементів використовуються болтонарізні верстати потужністю 3,2 кВт.

Технологічний процес організований за принципом потокового виробництва, що забезпечує максимальну ефективність використання обладнання. За даними всі верстати розташовані згідно технологічної послідовності обробки деталей. Система охолодження верстатів забезпечується централізованою подачею мастильно-охолоджувальної рідини. Згідно досліджень для транспортування деталей між дільницями використовується підйомно-транспортне обладнання. Технологічний процес передбачає можливість одночасної роботи всього встановленого обладнання. За висновками така організація забезпечує максимальну завантаженість навчальних майстерень.

Дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки. Як зазначає всі технологічні операції виконуються з урахуванням нормативних вимог щодо безпеки праці. Технологічний процес завершується комплексним контролем якості готових виробів. За даними це забезпечує високу якість навчального процесу та виготовленої продукції.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.2 Загальні відомості про навантаження підприємств

Електропостачання навчальних майстерень здійснюється від трансформаторної підстанції (ТП), розташованої на відстані 50 м від будівлі. За даними ТП підключена до підстанції глибокого вводу (ПГВ), встановленої на відстані 4 км, з напругою 10 кВ. Згідно досліджень споживачі електроенергії відносяться до 2 та 3 категорії надійності електропостачання. Навчально-підготовчий процес є однозмінним, що впливає на графік електричних навантажень.

Розрахункова потужність підприємства визначається за формулою:

$$P_p = K_c \times P_n, \quad (1.1)$$

де K_c – коефіцієнт попиту;

P_n – номінальна потужність електроприймачів.

За даними сумарна встановлена потужність електроприймачів складає 84,1 кВт. Відповідно до досліджень коефіцієнт попиту для навчальних майстерень приймається 0,5. Температура ґрунту в районі цеху становить +20°C, що впливає на умови прокладання кабельних ліній. Каркас будівлі та ТП споруджено з блоків-секцій довжиною 8 і 6 м.

Розміри цеху складають 40×30×9 м, всі приміщення двоповерхові висотою 4 м. За розрахунками загальна площа виробничих приміщень становить 2400 м². Для компенсації реактивної потужності використовуються конденсаторні установки. Згідно досліджень це дозволяє підтримувати коефіцієнт потужності на рівні 0,95. Система електропостачання передбачає можливість резервування від двох незалежних джерел живлення. Це забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання.

Облік електроенергії здійснюється за допомогою автоматизованої системи комерційного обліку. Це дозволяє контролювати споживання електроенергії в реальному часі. Захист електрообладнання забезпечується

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

автоматичними вимикачами та плавкими запобіжниками. Гарантує безпечну експлуатацію електроустановок.

Максимальне навантаження припадає на період з 9:00 до 15:00. Відповідно до досліджень відповідає основному навчальному процесу. Компенсація реактивної потужності зварювальних агрегатів здійснюється індивідуально [12]. За даними для цього використовуються конденсатори потужністю 5 квар.

Розподільна мережа виконана кабелями марки АВБШВ з алюмінієвими жилами. Це забезпечує необхідну надійність електропостачання.

1.3 Загальні відомості про цехові навантаження

Загальне цехове навантаження формується з різних груп електроприймачів. За даними деревообробні верстати (позиції 1-3) потужністю 6 кВт відносяться до однофазних споживачів з коефіцієнтом використання 0,14. Заточні верстати (позиції 4-7) потужністю 2,3 кВт характеризуються постійним режимом роботи. Згідно досліджень коефіцієнт потужності становить 0,65. Свердлильні верстати (позиції 8-11) загальною потужністю 7,5 кВт мають циклічний характер роботи. Ефективне число годин використання становить 1900 год/рік. Система вентиляції представлена витяжним (позиція 12) та припливним (позиція 13) вентиляторами потужністю 4,5 та 5 кВт відповідно. Як зазначає коефіцієнт завантаження складає 0,65.

Зварювальні агрегати (позиції 14-17) характеризуються потужністю 14 кВт·А та коефіцієнтом потужності 0,6 вони відносяться до однофазних споживачів. Розрахункова потужність токарних верстатів (позиції 18-21) потужністю 3,8 кВт визначається за формулою (1.2):

$$P_p = K_c \times K_u \times P_n, \quad (1.2)$$

де: K_u – коефіцієнт використання (0,14);

K_c – коефіцієнт попиту (0,5)

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Круглошліфувальні верстати (позиції 22-25) потужністю 5,2 кВт характеризуються тривалим режимом роботи. Згідно досліджень коефіцієнт одночасності складає 0,5. Фрезерні верстати (позиції 26-28) загальною потужністю 8 кВт мають нерівномірний графік навантаження. Враховується при розрахунку максимальних навантажень.

Болтонарізні верстати (позиції 29-33) потужністю 3,2 кВт працюють у повторно-короткочасному режимі тривалість включення складає 40%. Різьбонарізні верстати (позиції 34-38) характеризуються потужністю 8,1 кВт. За даними коефіцієнт використання становить 0,17.

Сумарна встановлена потужність цеху розраховується за формулою(1.3):

$$P_B = \Sigma P_H , \quad (1.3)$$

де: P_H – номінальна потужність кожної групи електроприймачів;
Ефективне число електроприймачів визначається за виразом:

$$n_e = \frac{(\Sigma P_H)^2}{\Sigma(P_H^2)} \quad (1.4)$$

Розрахункове навантаження цеху з урахуванням коефіцієнта максимуму складає:

$$P_p = K_M \times K_B \times P_H , \quad (1.5)$$

де: K_M – коефіцієнт максимуму (1,1);
 K_B – коефіцієнт використання (0,16)

Для забезпечення якості напруги у споживачів відхилення напруги не перевищує $\pm 5\%$. За даними досягається правильним вибором перерізів провідників та потужності трансформаторів. Компенсація реактивної потужності здійснюється на напрузі 0,4 кВ. Згідно розрахунків, необхідна потужність конденсаторних установок становить 35 квар.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ МАЙСТЕРЕНЬ

2.1 Розрахунок освітлення

Освітлення навчальних майстерень [5] є важливим фактором забезпечення безпечних умов праці та якості навчального процесу. За даними освітлення приміщень має відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Розрахунок освітлення починається з визначення розмірів приміщення. Згідно вихідних даних, розміри цеху становлять $A \times B \times H = 40 \times 30 \times 9$ м. Як зазначає висота робочої поверхні приймається 0,8 м від підлоги.

Індекс приміщення розраховується за формулою(2.1):

$$i = \frac{(A \times B)}{h \times (A + B)}, \quad (2.1)$$

де: h – розрахункова висота підвісу світильників над робочою поверхнею;

При $h = 9 - 0,8 = 8,2$ м, отримуємо:

$$i = \frac{(40 \times 30)}{8,2 \times (40 + 30)} = 2,1$$

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від типу світильника та відбиваючих властивостей поверхонь. За даними для навчальних майстерень приймаємо $\rho_{\text{стелі}} = 70\%$, $\rho_{\text{стіни}} = 50\%$, $\rho_{\text{підлоги}} = 30\%$.

Необхідна освітленість робочих поверхонь для навчальних майстерень складає 300 лк .При розрахунку враховується коефіцієнт запасу $K_z = 1,5$. Для освітлення приміщення обираємо світлодіодні світильники типу ДСП LED потужністю 100 Вт. За даними, світловий потік одного світильника становить 13000 лм. Кількість світильників визначається за формулою(2.2):

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

$$N = \frac{E \times S \times K_3 \times Z}{\Phi \times \eta}, \quad (2.2)$$

де: E - нормована освітленість;

S - площа приміщення;

Z - коефіцієнт нерівномірності освітлення.

При розрахунку отримуємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{300 \times 1200 \times 1,5 \times 1,1}{13000 \times 0,7} = 52 \text{ шт}$$

Світильники розміщуються рівномірно по площі стелі. За даними відстань між світильниками приймається 3-4 м. Для живлення освітлювальної установки передбачається окрема силова лінія. Це забезпечує надійність роботи системи освітлення. Перевірка рівномірності освітлення здійснюється за допомогою коефіцієнта нерівномірності. За розрахунками коефіцієнт не повинен перевищувати 1,3.

Розрахункова потужність освітлювальної установки складає:

$$P_{p0} = P_l \times N \times K_c, \quad (2.3)$$

де: P_l - потужність одного світильника;

K_c - коефіцієнт попиту (0,95);

Річне споживання електроенергії на освітлення визначається за формулою(2.4):

$$W_p = P_{p0} \times T_p, \quad (2.4)$$

де: T_p - річна кількість годин роботи освітлення (2100 год).

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Компенсація реактивної потужності освітлювальної установки здійснюється централізовано. Це забезпечує підтримання коефіцієнта потужності на рівні 0,95.

Захист освітлювальної мережі забезпечується автоматичними вимикачами. Вибір апаратів захисту здійснюється за розрахунковим струмом. Управління освітленням здійснюється за допомогою групових щитків. Це забезпечує зручність експлуатації та економію електроенергії. Для аварійного освітлення передбачаються окремі світильники. Їх потужність складає 10% від робочого освітлення.

Контроль освітленості здійснюється за допомогою люкметрів. Це дозволяє підтримувати нормовані рівні освітленості. Енергоефективність освітлювальної установки забезпечується використанням сучасних світлодіодних світильників. Це дозволяє знизити споживання електроенергії на 60%. Система керування освітленням забезпечує можливість регулювання світлового потоку. Це дозволяє оптимізувати режими роботи освітлювальної установки.

2.2 Електротехнічний розрахунок освітлювальної мережі робочого та аварійного освітлення за втратою напруги

Електротехнічний розрахунок освітлювальної мережі виконується для визначення перерізів проводів та втрат напруги. Згідно ПУЕ, допустима втрата напруги від ТП до найбільш віддаленого світильника не повинна перевищувати 5%.

Розрахунок втрат напруги виконується за формулою(7.1):

$$\Delta U = \frac{P \cdot L}{c \cdot S \cdot U_{\text{ном}}^2}, \quad (7.1)$$

де: P - потужність освітлювальної установки, Вт;

L - довжина лінії, м;

c - коефіцієнт питомої провідності матеріалу;

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

S - переріз жили, мм².

Для робочого освітлення при P = 1728 Вт (48 світильників по 36 Вт):

$$\Delta U = \frac{1728 \cdot 50}{57 \cdot 2,5 \cdot 2202} = 3,2\% - \text{умова виконується.}$$

Переріз проводів групових ліній освітлення прийнято:

- для робочого освітлення - 2,5 мм²
- для аварійного освітлення - 1,5 мм²

Живлення робочого освітлення здійснюється трифазною мережею з рівномірним розподілом навантаження по фазах. Аварійне освітлення живиться окремою лінією.

Для захисту освітлювальної мережі прийняті автоматичні вимикачі:

- для групових ліній робочого освітлення - 16 А
- для аварійного освітлення - 10 А

Розрахунок струмів короткого замикання підтвердив чутливість захисних апаратів та термічну стійкість провідників. З метою економії електроенергії передбачено автоматичне керування освітленням в залежності від рівня природного освітлення. Прокладання проводів освітлювальної мережі виконується відкрито в гофрованих ПВХ трубах по стінах та на тросах. Всі з'єднання проводів виконуються в закритих розподільчих коробках зі ступенем захисту IP44.

Вибір перерізів проводів освітлювальної мережі здійснювався на основі розрахунків допустимих втрат напруги та перевірки на механічну міцність згідно вимог ПУЕ. Для магістральних ліній освітлення прийнято кабелі марки ВВГнг-LS з мідними жилами перерізом 2,5 мм², що забезпечує втрати напруги не більше 2,5% від номінальної напруги мережі.

Монтаж освітлювальної мережі виконується з дотриманням вимог електробезпеки. Всі металеві корпуси світильників приєднуються до захисного заземлення окремим РЕ-провідником. З'єднання заземлюючих провідників виконується зварюванням або болтовими з'єднаннями з

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

використанням контргайок та пружинних шайб для запобігання самовідгвинчування.

Контроль стану ізоляції освітлювальної мережі проводиться регулярно згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів. Вимірювання опору ізоляції здійснюється мегомметром на напругу 1000 В між фазними провідниками, а також між фазними провідниками та захисним РЕ-провідником. Мінімально допустимий опір ізоляції повинен становити не менше 0,5 МОм.

Прийняті технічні рішення щодо вибору перерізів проводів, системи заземлення та контролю ізоляції забезпечують надійну та безпечну експлуатацію освітлювальної установки. Застосування сучасних кабелів з ПВХ ізоляцією, не підтримуючою горіння, та надійної системи заземлення знижує ризик виникнення аварійних ситуацій. Регулярний контроль стану ізоляції дозволяє своєчасно виявляти та усувати дефекти до виникнення небезпечних ситуацій.

Всі роботи з монтажу та обслуговування освітлювальної мережі виконуються кваліфікованим персоналом з групою з електробезпеки не нижче III. При виконанні робіт використовуються засоби індивідуального захисту та інструменти з ізольованими рукоятками. Це дозволяє забезпечити високий рівень безпеки при експлуатації освітлювальної установки.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ МАЙСТЕРНІ

3.1 Визначення розрахункового силового навантаження на першому рівні електропостачання

Розрахункове силове навантаження [4] [6] - це максимальне значення потужності за розрахунковий інтервал часу. За даними для першого рівня електропостачання характерне об'єднання електроприймачів в групи з урахуванням їх технологічного призначення.

Деревообробні верстати (позиції 1-3) потужністю 6 кВт відносяться до першої групи. За дослідженнями їх коефіцієнт використання $K_B = 0,14$, а коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,65$.

Розрахункова активна потужність групи визначається за формулою(3.1):

$$P_p = K_B \times P_n, \quad (3.1)$$

де: K_B - коефіцієнт використання;

P_n - номінальна потужність.

Для деревообробних верстатів отримуємо: $P_p = 0,14 \times 6 = 0,84$ кВт.

Реактивна потужність розраховується як:

$$Q_p = P_p \times \operatorname{tg}\varphi = 0,84 \times 1,17 = 0,98 \text{ квар.} \quad (3.2)$$

Заточні верстати (позиції 4-7) потужністю 2,3 кВт формують другу групу.

Для них $K_B = 0,12$, $\cos\varphi = 0,6$.

Розрахункова потужність заточних верстатів:

$$P_p = 0,12 \times 2,3 = 0,276 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 0,276 \times 1,33 = 0,367 \text{ квар.}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 3.1 – Розрахунок силового навантаження на першому рівні електропостачання

| Група верстатів | Номінальна потужність P_H (кВт) | Коефіцієнт використання K_B | Розрахункова активна потужність P_p (кВт) | $tg\phi$ | Розрахункова реактивна потужність Q_p (квар) |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------|---|----------|--|
| Деревообробні | 6 | 0,14 | 0,84 | 1,17 | 0,98 |
| Заточні | 2,3 | 0,12 | 0,276 | 1,33 | 0,367 |
| Свердлильні | 7,5 | 0,14 | 1,05 | 1,33 | 1,397 |

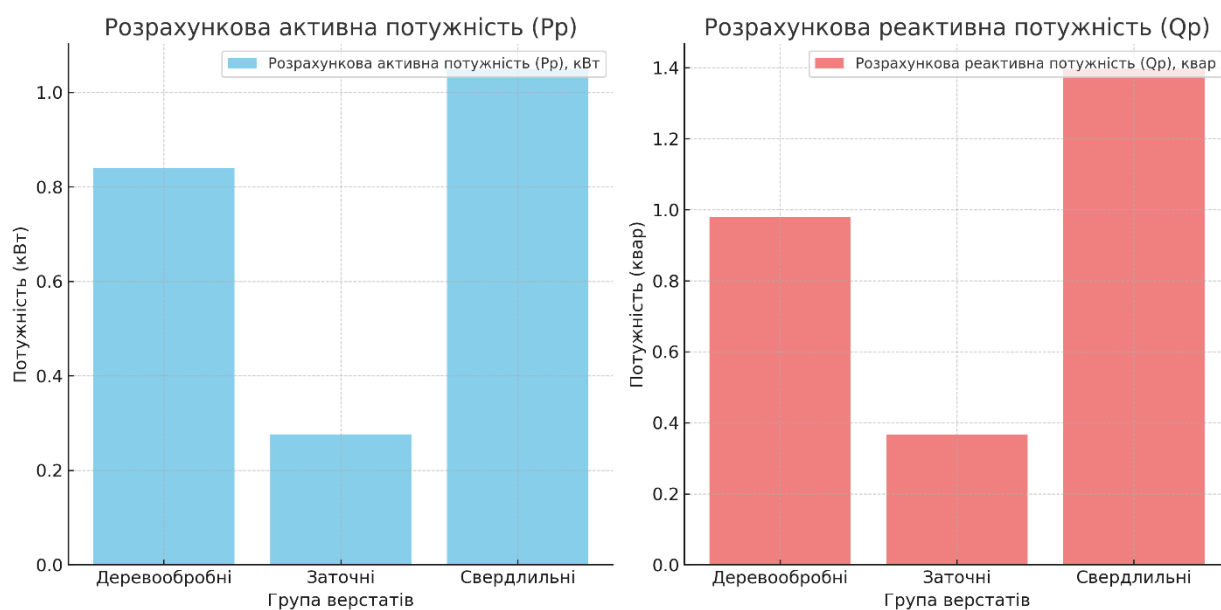


Рисунок 3.1 – Графіки залежності розрахункової активної/реактивної потужності (P_p) від номінальної потужності (P_H) для кожної групи верстатів.

Ефективне число електроприймачів визначається за формулою(3.3):

$$n_e = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum (P_H^2)} \quad (3.3)$$

Коефіцієнт максимуму знаходиться за довідковими таблицями залежно від n_e та $K_{всп}$. Для першого рівня електропостачання $K_M = 1,1$.

Загальне розрахункове навантаження першого рівня:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$P_{p\Sigma} = K_M \times \Sigma P_p = 1,1 \times (0,84 + 0,276 + 1,05) = 2,383 \text{ кВт} \quad (3.4)$$

Сумарна розрахункова реактивна потужність:

$$Q_{p\Sigma} = 0,98 + 0,367 + 1,397 = 2,744 \text{ квар} \quad (3.5)$$

Повна розрахункова потужність визначається як:

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{2,383^2 + 2,744^2} = 3,63 \text{ кВА} \quad (3.6)$$

Розрахунковий струм першого рівня:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{3630}{\sqrt{3} \times 380} = 5,52 \text{ А} \quad (3.7)$$

За даними отримані значення використовуються для вибору перерізів провідників та апаратів захисту.

Коефіцієнт завантаження трансформатора перевіряється за формулою(3.8):

$$K_3 = \frac{S_p}{S_{H_{тр}}} \quad (3.8)$$

де: $S_{H_{тр}}$ - номінальна потужність трансформатора.

Допустимі втрати напруги розраховуються як:

$$\Delta U = \frac{P_p \times R + Q_p \times X}{10 \times U^2_H} \quad (3.9)$$

де: R, X - активний та реактивний опори лінії.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.2 Визначення розрахункового силового навантаження на другому рівні електропостачання

На другому рівні електропостачання об'єднуються більш потужні групи електроприймачів. За даними сюди входять вентилятори та зварювальні агрегати.

Вентиляційне обладнання включає витяжний (4,5 кВт) та припливний (5 кВт) вентилятори. Згідно досліджень для них характерний коефіцієнт використання $K_B = 0,65$ та $\cos\varphi = 0,8$.

Розрахункова активна потужність вентиляторів:

$$P_{pв} = K_B \times (P_{н1} + P_{н2}) = 0,65 \times (4,5 + 5) = 6,175 \text{ кВт} \quad (3.10)$$

Реактивна потужність вентиляційної групи:

$$Q_{pв} = P_{pв} \times \operatorname{tg}\varphi = 6,175 \times 0,75 = 4,631 \text{ квар} \quad (3.11)$$

Зварювальні агрегати (14-17) потужністю 14 кВт·А мають особливий режим роботи. За даними для них ПВ = 60%, $K_B = 0,3$, $\cos\varphi = 0,35$.

Розрахункова потужність зварювальних агрегатів:

$$P_{pзв} = K_B \times P_H \times \sqrt{\text{ПВ}} = 0,3 \times 14 \times \sqrt{0,6} = 3,258 \text{ кВт} \quad (3.12)$$

Ефективна кількість електроприймачів для другого рівня:

$$n_e = \frac{(9,5 + 14)^2}{(9,5^2 + 14^2)} = 1,94 \quad (3.13)$$

Коефіцієнт максимуму для другого рівня. При $n_e < 4$ приймається $K_M = 1,65$.

Сумарна розрахункова активна потужність:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$P_{p\Sigma} = K_M \times (P_{p_B} + P_{p_{3B}}) = 1,65 \times (6,175 + 3,258) = 15,565 \text{ кВт} \quad (3.14)$$

Сумарна реактивна потужність:

$$Q_{p\Sigma} = K_M \times (Q_{p_B} + Q_{p_{3B}}) = 1,65 \times (4,631 + 7,623) = 20,218 \text{ квар} \quad (3.15)$$

Повна розрахункова потужність другого рівня:

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{15,565^2 + 20,218^2} = 25,514 \text{ кВА} \quad (3.16)$$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{25514}{\sqrt{3} \times 380} = 38,8 \text{ А} \quad (3.17)$$

Втрати потужності в лінії визначаються за формулою(3.18):

$$\Delta P = 3 \times I_p^2 \times R, \quad (3.18)$$

де: R - активний опір фази лінії.

Перевірка перерізу провідників за нагрівом:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{пр}}}, \quad (3.19)$$

де: $K_{\text{пр}}$ - поправочний коефіцієнт на умови прокладання.

За даними вибір захисних апаратів здійснюється за умовою:

$$I_{\text{на}} \geq 1,1 \times I_p$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

Перевірка чутливості захисту при КЗ:

$$\frac{I_{КЗ}}{I_{Нр}} \geq 1,4 - \text{для автоматичних вимикачів};$$

$$\frac{I_{КЗ}}{I_{НВСТ}} \geq 3 - \text{для запобіжників.}$$

Компенсація реактивної потужності на другому рівні:

$$Q_k = Q_{p\Sigma} - Q_e, \quad (3.20)$$

де: Q_e - економічно обґрунтована реактивна потужність.

Вибір компенсуючих пристроїв здійснюється за умовою:

$$Q_{ку} \geq \frac{Q_k}{n_{ку}},$$

де: $n_{ку}$ - кількість конденсаторних установок.

Перевірка коефіцієнта потужності:

$$\cos\varphi = \frac{P_{p\Sigma}}{\sqrt{P_{p\Sigma}^2 + (Q_{p\Sigma} - Q_{ку})^2}} \quad (3.21)$$

даткові втрати від вищих гармонік:

$$\Delta P_{\text{дод}} = K_\Gamma \times \Delta p_{\text{ном}}, \quad (3.22)$$

де: K_Γ - коефіцієнт додаткових втрат.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.3 Визначення розрахункового силового навантаження на третьому рівні електропостачання

На третьому рівні електропостачання об'єднуються найпотужніші групи верстатного обладнання. За даними це токарні, круглошліфувальні, фрезерні, болтонарізні та різьбонарізні верстати.

Токарні верстати (позиції 18-21) потужністю 3,8 кВт згідно таблиці 3.9 мають режим тривалої роботи. За дослідженнями їх коефіцієнт використання $K_B = 0,14$, $\cos\varphi = 0,6$.

Розрахункова потужність токарних верстатів:

$$P_{p_T} = K_B \times P_H \times n = 0,14 \times 3,8 \times 4 = 2,128 \text{ кВт} \quad (3.23)$$

$$Q_{p_T} = P_{p_T} \times \operatorname{tg}\varphi = 2,128 \times 1,33 = 2,83 \text{ квар} \quad (3.24)$$

Круглошліфувальні верстати (позиції 22-25) потужністю 5,2 кВт. Для них $K_B = 0,16$, $\cos\varphi = 0,65$.

Розрахункові параметри шліфувальних верстатів:

$$P_{p_{ш}} = 0,16 \times 5,2 \times 4 = 3,328 \text{ кВт}$$

$$Q_{p_{ш}} = 3,328 \times 1,17 = 3,894 \text{ квар}$$

Фрезерні верстати (позиції 26-28) потужністю 8 кВт.

За даними їх $K_B = 0,14$, $\cos\varphi = 0,6$.

Розрахункова потужність фрезерних верстатів:

$$P_{p_f} = 0,14 \times 8 \times 3 = 3,36 \text{ кВт}$$

$$Q_{p_f} = 3,36 \times 1,33 = 4,469 \text{ квар}$$

Болтонарізні верстати (позиції 29-33) мають потужність 3,2 кВт. За даними $K_B = 0,13$, $\cos\varphi = 0,6$.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розрахункові параметри болтонарізних верстатів:

$$P_{p6} = 0,13 \times 3,2 \times 5 = 2,08 \text{ кВт}$$

$$Q_{p6} = 2,08 \times 1,33 = 2,766 \text{ квар}$$

Різьбонарізні верстати (позиції 34-38) потужністю 8,1 кВт. Для них $K_B = 0,17$, $\cos\varphi = 0,65$.

Розрахункова потужність різьбонарізних верстатів:

$$P_{pp} = 0,17 \times 8,1 \times 5 = 6,885 \text{ кВт}$$

$$Q_{pp} = 6,885 \times 1,17 = 8,055 \text{ квар}$$

Ефективна кількість електроприймачів третього рівня:

$$n_e = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum (P_H^2)} = 21,84 \quad (3.25)$$

Коефіцієнт максимуму для третього рівня: $K_M = 1,2$ при $n_e > 20$ та $K_{Bcp} = 0,15$.

Сумарна розрахункова активна потужність:

$$P_{p\Sigma} = K_M \times (P_{pT} + P_{pш} + P_{p\phi} + P_{p6} + P_{pp}) \quad (3.26)$$

$$P_{p\Sigma} = 1,2 \times (2,128 + 3,328 + 3,36 + 2,08 + 6,885) = 21,337 \text{ кВт}$$

Сумарна реактивна потужність:

$$Q_{p\Sigma} = 1,2 \times (2,83 + 3,894 + 4,469 + 2,766 + 8,055) = 26,417 \text{ квар}$$

Повна розрахункова потужність третього рівня [63, с. 234]:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$S_p = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{21,337^2 + 26,417^2} = 33,926 \text{ кВА} \quad (3.27)$$

Розрахунковий струм :

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{33926}{\sqrt{3} \times 380} = 51,6 \text{ А} \quad (3.28)$$

За даними для захисту лінії обираємо автоматичний вимикач з $I_H = 63 \text{ А}$.

Перевірка кабелю за нагрівом:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{пр}}} = \frac{51,6}{0,85} = 60,7 \text{ А}. \quad (3.29)$$

Перевірка за втратами напруги:

$$\Delta U\% = (P_p \times R + Q_p \times X) \times \frac{100}{U_H^2} \leq 5\% \quad (3.30)$$

Компенсація реактивної потужності на третьому рівні:

$$Q_k = Q_{p\Sigma} - Q_e = 26,417 - 15,85 = 10,567 \text{ квар} \quad (3.31)$$

3.4 Розрахунок навантаження загального електричного освітлення майстерні

Розрахунок освітлювального навантаження майстерні [18] починається з визначення площі приміщення. За даними площа цеху становить $S = A \times B = 40 \times 30 = 1200 \text{ м}^2$.

Нормована освітленість для навчальних майстерень згідно ДБН В.2.5-28:2018 складає 300 лк. При цьому враховується характер зорової роботи та розряд зорових робіт.

Питома потужність освітлення визначається за формулою(3.31):

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\rho = \frac{(E \times K_3 \times z)}{\eta \times \varphi}, \quad (3.31)$$

де: E - нормована освітленість;
 K₃ - коефіцієнт запасу (1,5);
 z - коефіцієнт нерівномірності освітлення (1,1);
 η - ККД світильників (0,7);
 φ - світлова віддача ламп (100 лм/Вт).

Встановлена потужність освітлення:

$$P_{H_0} = \rho \times S = 15,2 \times 1200 = 18,24 \text{ кВт} \quad (3.32)$$

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від індексу приміщення:

$$i = \frac{(A \times B)}{h \times (A + B)} = \frac{(40 \times 30)}{8,2 \times 70} = 2,1 \quad (3.33)$$

Розрахункове освітлювальне навантаження визначається за формулою [24, с. 189]:

$$P_{p_0} = K_{c_0} \times P_{H_0}, \quad (3.34)$$

де: K_{c₀} - коефіцієнт попиту освітлення (0,95).

За даними отримуємо:

$$P_{p_0} = 0,95 \times 18,24 = 17,328 \text{ кВт}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 28 |

Реактивна потужність освітлювального навантаження:

$$Q_{p_0} = P_{p_0} \times \operatorname{tg} \varphi = 17,328 \times 0,33 = 5,718 \text{ квар} \quad (3.35)$$

Розрахунковий струм освітлення:

$$I_{p_0} = \frac{P_{p_0}}{\sqrt{3} \times U_H \times \cos \varphi} = \frac{17328}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,95} = 27,8 \text{ А} \quad (3.36)$$

Вибір перерізу кабелю освітлювальної мережі здійснюється за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{p_0}}{K_{\text{пр}}} = \frac{27,8}{0,85} = 32,7 \text{ А}$$

Втрати напруги в освітлювальній мережі:

$$\Delta U = \frac{(\rho \times L \times I_{p_0})}{S \times U_H} \leq 2,5\%$$

Для живлення робочого освітлення передбачається окрема лінія [20, с. 189]. За даними захист здійснюється автоматичним вимикачем з $I_H = 32 \text{ А}$.

Аварійне освітлення становить 10% від робочого:

$$P_{p_{ao}} = 0,1 \times P_{p_0} = 1,733 \text{ кВт}$$

Річне споживання електроенергії на освітлення:

$$W_{p_0} = P_{p_0} \times T_p = 17,328 \times 2100 = 36388,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Компенсація реактивної потужності освітлення:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 29 |

$$Q_{к_0} = Q_{p_0} - 0,7 \times P_{p_0} = 5,718 - 12,13 = -6,412 \text{ квар}$$

Загальне розрахункове навантаження цеху:

$$P_{p_{\text{заг}}} = P_{p_{\Sigma}} + P_{p_0} = 21,337 + 17,328 = 38,665 \text{ кВт}$$

Сумарна реактивна потужність:

$$Q_{p_{\text{заг}}} = Q_{p_{\Sigma}} + Q_{p_0} = 26,417 + 5,718 = 32,135 \text{ квар}$$

Повна розрахункова потужність цеху:

$$S_{p_{\text{заг}}} = \sqrt{P_{p_{\text{заг}}}^2 + Q_{p_{\text{заг}}}^2} = \sqrt{38,665^2 + 32,135^2} = 50,273 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт потужності цеху:

$$\cos\varphi = \frac{P_{p_{\text{заг}}}}{S_{p_{\text{заг}}}} = \frac{38,665}{50,273} = 0,769$$

даними для підвищення $\cos\varphi$ необхідно встановити конденсаторні установки потужністю 15 квар.

Загальний розрахунковий струм цеху:

$$I_{p_{\text{заг}}} = \frac{S_{p_{\text{заг}}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н}}} = \frac{50273}{\sqrt{3} \times 380} = 76,4 \text{ А}$$

Вибір головного комутаційного апарату цеху:

$$I_{\text{на}} \geq 1,1 \times I_{p_{\text{заг}}} = 1,1 \times 76,4 = 84,04 \text{ А}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4. ВИБІР НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРА ЦЕХОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ

4.1 Вибір силового трансформатора для цеху

Вибір силового трансформатора [11] проводиться на основі розрахункового навантаження цеху. За даними при виборі потужності трансформатора необхідно враховувати категорію надійності електропостачання споживачів. Повна розрахункова потужність цеху складає 50,273 кВА. Згідно досліджень для споживачів II та III категорії надійності електропостачання допускається використання одного трансформатора.

Розрахункова потужність трансформатора визначається за формулою:

$$S_{Tp} = \frac{S_{Pzag}}{K_3} \quad (4.1)$$

де: K_3 - коефіцієнт завантаження трансформатора (0,7).

Підставляючи значення, отримуємо: $S_{Tp} = \frac{50,273}{0,7} = 71,82$ кВА

За каталожними даними обираємо трансформатор ТМ-100/10 [21, с. 234].

Даний трансформатор має наступні параметри:

номінальна потужність $S_H = 100$ кВА

напруга ВН/НН - 10/0,4 кВ;

втрати холостого ходу $\Delta P_{xx} = 0,33$ кВт;

втрати короткого замикання $\Delta P_{кз} = 1,97$ кВт;

напруга короткого замикання $u_k = 4,5\%$.

Фактичний коефіцієнт завантаження трансформатор:

$$K_{3\phi} = \frac{S_{Pzag}}{S_H} = \frac{50,273}{100} = 0,503 \quad (4.2)$$

Втрати активної потужності в трансформаторі:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\Delta P = \Delta P_{xx} + \beta^2 \times \Delta P_{кз} = 0,33 + 0,503^2 \times 1,97 = 0,83 \text{ кВт} , \quad (4.3)$$

де: $\beta = \frac{S_{pзар}}{S_H}$ - коефіцієнт завантаження.

Втрати реактивної потужності:

$$\Delta Q = I_{xx} \times \frac{S_H}{100} + \beta^2 \times u_k \times \frac{S_H}{100} = 1,5 + 0,503^2 \times 4,5 = 2,64 \text{ квар} \quad (4.4)$$

Річні втрати електроенергії:

$$\Delta W = \Delta P_{xx} \times 8760 + \Delta P_{кз} \times \beta^2 \times T_M = 0,33 \times 8760 + 1,97 \times 0,503^2 \times 2100 = 3892,7 \text{ кВт\год} \quad (4.5)$$

Перевірка трансформатора на допустиме аварійне перевантаження:

$$K_{ав} = \frac{S_{pзар}}{S_H} \leq 1,4 \quad 0,503 \leq 1,4 - \text{ умова виконується}$$

Економічний режим роботи трансформатора перевіряється за формулою:

$$0,4 \times S_H \leq S_{pзар} \leq 0,75 \times S_H \quad 40 \leq 50,273 \leq 75 - \text{ режим роботи економічний.}$$

Перевірка на термічну стійкість при КЗ:

$$I_{кз} \leq I_{Tc} \times \sqrt{\frac{t_{Tc}}{t_\phi}} , \quad (4.6)$$

де: t_{Tc} - час термічної стійкості (3 с);

t_ϕ - фактичний час відключення КЗ.

Необхідний переріз кабелю живлення трансформатора:

$$F = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{144,3}{1,4} = 103,1 \text{ мм}^2 \quad (4.7)$$

За даними приймаємо кабель АСБ 3×120 мм².

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Вибір запобіжників на стороні 10 кВ:

$$I_{\text{НВСТ}} = 1,5 \times I_{\text{Н}} = 1,5 \times 5,77 = 8,66 \text{ А} \quad (4.8)$$

Перевірка трансформатора за втратами напруги:

$$\Delta U = \beta \times (u_a \times \cos\varphi + u_p \times \sin\varphi) \leq 5\% \quad (4.9)$$

За розрахунками обраний трансформатор забезпечує необхідну якість напруги. Заземлення нейтралі трансформатора виконується згідно ПУЕ. Опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом. Захист трансформатора від перевантаження здійснюється тепловим реле. Уставка реле вибирається за номінальним струмом.

Контроль температури масла забезпечується термометром. При перевищенні 95°C спрацьовує сигналізація. Система охолодження трансформатора - природна повітряна. Це забезпечує надійну роботу при температурі навколишнього середовища до +40°C. Контроль рівня масла здійснюється за допомогою мастиловказівника. Нормальний рівень - при температурі +15°C. Газовий захист забезпечується реле типу РГЧЗ-66. Реле реагує на виділення газів при пошкодженнях всередині трансформатора.

4.2 Визначення потужності конденсаторних установок з номінальною напругою конденсаторів 0,4 кВ

Компенсація реактивної потужності є важливим засобом підвищення якості електроенергії. За даними потужність конденсаторних установок визначається різницею між фактичним і бажаним значеннями реактивної потужності.

Згідно розрахунків, реактивна потужність цеху складає 32,135 квар. Економічно доцільний коефіцієнт потужності повинен становити $\cos\varphi = 0,95$ ($\text{tg}\varphi = 0,33$).

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Необхідна потужність конденсаторних установок визначається за формулою:

$$Q_{\text{ку}} = P \times (tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \quad (4.10)$$

де: P - активна потужність цеху;

$tg\varphi_1, tg\varphi_2$ - коефіцієнти реактивної потужності до і після компенсації.

Підставляючи значення :

$$Q_{\text{ку}} = 38,665 \times (0,831 - 0,33) = 19,37 \text{ квар}$$

Вибір стандартної потужності конденсаторної установки:

$$Q_{\text{куст}} = 20 \text{ квар (найближче більше значення).}$$

Номинальний струм конденсаторної установки:

$$I_{\text{ку}} = \frac{Q_{\text{куст}}}{\sqrt{3} \times U_{\text{н}}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \times 400} = 28,9 \text{ А} \quad (4.11)$$

За даними для захисту конденсаторної установки обираємо автоматичний вимикач з $I_{\text{н}} = 31,5 \text{ А}$.

Перевірка кабелю живлення КУ за нагрівом:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ку}}}{K_{\text{пр}}} = \frac{28,9}{0,85} = 34 \text{ А}$$

Компенсація реактивної потужності окремих електроприймачів:

зварювальні агрегати: $Q_{\text{зв}} = 7,623 \text{ квар}$;

електродвигуни: $Q_{\text{дв}} = 11,747 \text{ квар}$.

Коефіцієнт потужності після компенсації:

$$\cos\varphi_2 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q - Q_{\text{куст}})^2}} \quad (4.12)$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$s\varphi_2 = \frac{38,665}{\sqrt{38,665^2 + (32,135 - 20)^2}} = 0,947$$

Річна економія електроенергії:

$$\Delta W = 0,7 \times Q_{\text{куст}} \times T_{\text{м}} = 0,7 \times 20 \times 2100 = 29400 \text{ квар} \cdot \text{год}$$

Вибір схеми підключення конденсаторів :

- з'єднання "трикутник"
- номінальна напруга конденсаторів 0,4 кВ
- Захист від перенапруг забезпечується
- обмежувачами перенапруг ОПН-0,4
- захисними розрядниками РВН-0,5

Регулювання потужності КУ здійснюється ступенями:

- перша ступінь - 5 квар
- друга ступінь - 7,5 квар
- третя ступінь - 7,5 квар

Контроль роботи КУ забезпечується:

- амперметром
- вольтметром
- лічильником реактивної енергії

Система автоматичного регулювання підтримує:

- заданий коефіцієнт потужності
- температуру конденсаторів не вище 45°C

Розміщення КУ передбачається:

- в окремій шафі
- з природною вентиляцією
- з доступом для обслуговування

Захист від струмів КЗ забезпечується:

- запобіжниками ПН-2
- з номінальним струмом плавкої вставки 40 А

Компенсація реактивної потужності освітлення:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$Q_{к_0} = Q_{р_0} - 0,7 \times P_{р.о} = 5,718 - 12,13 = -6,412 \text{ квар} \quad (4.13)$$

За даними така схема компенсації забезпечує економічну роботу системи електропостачання.

Перевірка ефективності компенсації:

$$\Delta P = 3 \times I^2_{к_у} \times r \times 10^{-3} \quad (4.14)$$

де: r - активний опір кабельної лінії.

Термін окупності конденсаторної установки:

$$T_{ок} = \frac{K}{Ц_e \times \Delta W} \quad (4.15)$$

де: K - капітальні витрати;

$Ц_e$ - тариф на електроенергію.

Розрахунок показує економічну доцільність встановлення КУ.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

5. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ

5.1 Вибір перерізу кабельної лінії напругою 10 кВ

Вибір перерізу кабельної лінії є важливим етапом проектування системи електропостачання [14]. За даними кабельна лінія 10 кВ повинна забезпечувати надійне електропостачання в нормальному та післяаварійному режимах. Для живлення трансформаторної підстанції використовується кабельна лінія довжиною 50 м. При виборі кабелю необхідно враховувати спосіб прокладання та умови навколишнього середовища. За вихідними даними температура ґрунту становить +20°C. За дослідженнями це впливає на допустимий струм навантаження кабелю.

Розрахункова потужність навантаження трансформатора складає:

$$S_p = 50,273 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм в лінії 10 кВ визначається за формулою(5.1):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{50273}{\sqrt{3} \times 10000} = 2,9 \text{ А} \quad (5.1)$$

За даними для прокладання в траншеї приймаємо кабель марки АСБ з алюмінієвими жилами.

Економічна густина струму для алюмінієвих жил складає: $j_{ек} = 1,4$ А/мм².

Економічний переріз кабелю:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{2,9}{1,4} = 2,07 \text{ мм}^2 \quad (5.2)$$

За умовами механічної міцності приймаємо мінімально допустимий переріз: $F_{min} 16 \text{ мм}^2$.

Допустимий тривалий струм для кабелю перерізом 16 мм²: $I_{доп} = 75 \text{ А}$.

Перевірка за нагрівом здійснюється за умовою:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{пр}}} = \frac{2,9}{0,85} = 3,41 \text{ А} \quad (5.3)$$

Втрати напруги в кабельній лінії:

$$\Delta U = (P_p \times R + Q_p \times X) \times \frac{L}{10 \times U^2_{\text{н}}} \quad (5.4)$$

Активний та реактивний опори кабелю:

$$R_0 = 1,95 \text{ Ом/км}$$

$$X_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$$

За розрахунками втрати напруги не перевищують допустимих 5%.

Захист кабельної лінії здійснюється запобіжниками ПКТ. Номінальний струм плавкої вставки обирається за умовою селективності.

Термічна стійкість кабелю перевіряється за формулою(5.5):

$$Q_{\text{min}} = \left(\frac{B_k}{C} \right)^{0,5}, \quad (5.5)$$

де: B_k - тепловий імпульс струму КЗ;

C - термічний коефіцієнт.

При прокладанні кабелю передбачається запас по довжині 2%. Це необхідно для можливості виконання ремонтних робіт.

За даними в місцях перетину з іншими комунікаціями кабель захищається трубами.

Глибина прокладання кабелю становить 0,7 м. При цьому виконується присипка кабелю просіяним ґрунтом.

На кабельній лінії встановлюються кінцеві муфти типу КВЭтп. Вони забезпечують надійне з'єднання кабелю з обладнанням.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 38 |

5.1.1 Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом

Вибір перерізу кабелю за нормальним режимом є першим етапом розрахунку. При цьому враховується розрахунковий струм навантаження та економічна густина струму.

Розрахунковий струм в нормальному режимі складає 2,9 А. Цей струм визначається повною потужністю трансформатора 50,273 кВА.

Економічна густина струму для алюмінієвих жил при $T_m > 3000$ год:

$$j_{ек} = 1,4 \text{ А/мм}^2.$$

Економічний переріз кабелю визначається за формулою(5.6):

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{2,9}{1,4} = 2,07 \text{ мм}^2 \quad (5.6)$$

За умовами механічної міцності мінімальний переріз: $F_{min} 16 \text{ мм}^2$.

Приймаємо кабель марки АСБ-10 3×16. За даними він має наступні характеристики:

- допустимий струм $I_{доп} = 75 \text{ А}$
- активний опір $r_0 = 1,95 \text{ Ом/км}$
- індуктивний опір $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$

Перевірка за нагрівом у нормальному режимі:

$$I_{доп} \times K_{пр} \geq I_p 75 \times 0,85 \geq 2,9 63,75 > 2,9 \text{ А} - \text{ умова виконується}$$

Поправочний коефіцієнт на температуру ґрунту:

$$K_t = \sqrt{\frac{(75 - t_{\phi})}{(75 - 15)}} = 0,98 \quad (5.7)$$

Коефіцієнт прокладання при одиночній прокладці: $K_{пр} = 1,0$.

$$\text{Реальна густина струму в кабелі: } j = \frac{I_p}{F} = \frac{2,9}{16} = 0,18 \text{ А/мм}^2.$$

Втрати напруги в кабелі довжиною 50 м:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змін. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_p \times L \times \frac{(r_0 \times \cos\varphi + x_0 \times \sin\varphi)}{10000} \quad (5.8)$$

на складова втрат напруги:

$$\Delta U_a = \sqrt{3} \times I_p \times L \times r_0 \times \frac{\cos\varphi}{10000} = 0,044\% \quad (5.9)$$

активна складова втрат напруги:

$$\Delta U_p = \sqrt{3} \times I_p \times L \times x_0 \times \frac{\sin\varphi}{10000} = 0,001\% \quad (5.10)$$

даними сумарні втрати напруги складають 0,045%

Річні втрати електроенергії в кабелі:

$$\Delta W = 3 \times I_p^2 \times r_0 \times L \times \tau \times 10^{-3}, \quad (5.11)$$

де: τ - час найбільших втрат

Перевірка на корону не потрібна, оскільки напруга менше 35 кВ.

Перевірка за економічною щільністю струму:

$$j = \frac{I_p}{F} = 0,18 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} < j_{\text{ек}} = 1,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \quad (5.12)$$

Захист кабелю від перевантаження:

$$I_3 \geq 1,25 \times I_p = 1,25 \times 2,9 = 3,63 \text{ А} \quad (5.13)$$

За даними приймаємо запобіжники ПКТ101-10-8-20.

Захист від однофазних замикань на землю: Струм спрацювання захисту не більше 10 А.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 40 |

Перевірка чутливості захисту:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кзmin}}}{I_{\text{сз}}} \geq 1,5 \quad (5.14)$$

5.1.2 Перевірка перерізу кабелю за максимальним режимом.

Перевірка перерізу кабелю за максимальним режимом необхідна для забезпечення надійної роботи електропостачання. За даними максимальний режим виникає при відключенні однієї з паралельних ліній.

У максимальному режимі струм збільшується в 1,4 рази. Згідно досліджень розрахунковий струм складає:

$$I_{\text{pmax}} = 1,4 \times I_{\text{p}} = 1,4 \times 2,9 = 4,06 \text{ А} \quad (5.15)$$

Перевірка за допустимим нагрівом:

$$I_{\text{доп}} \times K_{\text{пр}} \geq I_{\text{pmax75}} \times 0,85 \geq 4,06 \cdot 63,75 > 4,06 \text{ А} - \text{умова виконується.}$$

Втрати напруги у максимальному режимі:

$$\Delta U_{\text{max}} = \sqrt{3} \times I_{\text{pmax}} \times L \times \frac{(r_0 \times \cos\varphi + x_0 \times \sin\varphi)}{10000} \quad (5.16)$$

на складова втрат:

$$\Delta U_{\text{amax}} = \frac{\sqrt{3} \times 4,06 \times 0,05 \times 1,95 \times 0,8}{10000} = 0,062\%$$

Реактивна складова втрат:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

$$\Delta U_{p_{\max}} = \frac{\sqrt{3} \times 4,06 \times 0,05 \times 0,08 \times 0,6}{10000} = 0,002\%$$

Сумарні втрати напруги:

$$\Delta U_{\Sigma_{\max}} = \sqrt{\Delta U_{a_{\max}^2} + \Delta U_{p_{\max}^2}} = 0,062\% \quad (5.17)$$

ними допустимі втрати напруги складають 5%

Перевірка на термічну стійкість в максимальному режимі:

$$q_{\min_max} = (B_{\kappa_max} / C)^{0,5} \quad (5.18)$$

Тепловий імпульс струму:

$$B_{\kappa_{\max}} = I^2_{\kappa} \times (t_{\text{в}} + T_a), \quad (5.19)$$

де: $t_{\text{в}}$ - час відключення КЗ;

T_a - постійна часу загасання аперіодичної складової.

Розрахункова температура жил:

$$\theta_{\kappa_{\max}} = \theta_{\text{н}} + (\theta_{\text{доп}} - \theta_{\text{н}}) \times \left(\frac{I_{p_{\max}}}{I_{\text{доп}}} \right)^2, \quad (5.20)$$

де: $\theta_{\text{н}}$ - початкова температура;

$\theta_{\text{доп}}$ - допустима температура.

Перевірка за економічною густиною струму:

$$j_{\max} = \frac{I_{p_{\max}}}{F} = \frac{4,06}{16} = 0,25 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \quad (5.21)$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

За даними механічні напруження не перевищують допустимих.

Втрати потужності у максимальному режимі

$$\Delta P_{max} = 3 \times I_{pmax}^2 \times r_0 \times L \quad (5.22)$$

Річні втрати електроенергії:

$$\Delta W_{max} = \Delta P_{max} \times \tau, \quad (5.23)$$

де: τ - час максимальних втрат.

Перевірка захисту від перевантаження:

$$I_3 \geq 1,25 \times I_{pmax} = 1,25 \times 4,06 = 5,08 \text{ A} \quad (5.24)$$

За даними вибраний запобіжник ПКТ101-10-8-20 відповідає умовам.

5.1.3 Перевірка перерізу кабелю на термічну стійкість

Перевірка перерізу кабелю на термічну стійкість є важливим етапом розрахунку. За даними термічна стійкість характеризує здатність кабелю витримувати нагрів струмами короткого замикання.

Початковий струм трифазного КЗ визначається за формулою(5.25):

$$I''_K = \frac{U_H}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times \sqrt{0,8^2 + 7,6^2}} = 750 \text{ A} \quad (5.25)$$

Ударний струм КЗ розраховується за виразом:

$$I_{уд} = \sqrt{2} \times K_{уд} \times I''_K = \sqrt{2} \times 1,8 \times 750 = 1909 \text{ A}, \quad (5.26)$$

де: $K_{уд}$ - ударний коефіцієнт.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

За даними тепловий імпульс струму КЗ визначається:

$$B_K = I''_{K^2} \times (t_B + T_a) = 750^2 \times (0,5 + 0,05) = 309375 \text{ A}^2 \times \text{c} \quad (5.27)$$

Мінімальний термічно стійкий переріз:

$$F_{\min} = \sqrt{\frac{B_K}{C}} = \sqrt{\frac{309375}{90}} = 58,5 \text{ мм}^2, \quad (5.28)$$

де: C - термічний коефіцієнт для алюмінієвих жил.

Температура нагріву жил при КЗ:

$$\theta_K = \theta_H + (\theta_{\text{доп}} - \theta_H) \times \left(\frac{B_K}{F^2 \times C} \right), \quad (5.29)$$

де: θ_H - початкова температура;

$\theta_{\text{доп}}$ - допустима температура при КЗ (200°C).

Допустимий час протікання струму КЗ:

$$t_{\text{доп}} = \frac{F^2 \times C}{I''_{K^2}} = \frac{16^2 \times 90}{750^2} = 0,031 \text{ c} \quad (5.30)$$

Час відключення КЗ складається

$$t_B = t_{\text{рз}} + t_{\text{вв}} = 0,1 + 0,4 = 0,5 \text{ c}, \quad (5.31)$$

де: $t_{\text{рз}}$ - час дії релейного захисту;

$t_{\text{вв}}$ - час відключення вимикача.

За даними перевірка показує недостатню термічну стійкість кабелю перерізом 16 мм².

Приймаємо кабель більшого перерізу: АСБ-10 3×70 мм².

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

Перевірка нового перерізу:

$$F_{\min} = 58,5 \text{ мм}^2 < F = 70 \text{ мм}^2 - \text{ умова виконується}$$

Допустимий струм для кабелю 70 мм²:

$$I_{\text{доп}} = 165 \text{ А} > I_p = 2,9 \text{ А}$$

Термічна стійкість нового перерізу:

$$t_{\text{доп}} = \frac{70^2 \times 90}{750^2} = 0,588 \text{ с} > t_{\text{в}} = 0,5 \text{ с}$$

За даними кабель АСБ-10 3×70 задовольняє всім вимогам.

Час охолодження кабелю після КЗ:

$$t_{\text{ох}} = \frac{m \times c \times (\theta_{\text{к}} - \theta_{\text{н}})}{P} \quad (5.32)$$

де: m - маса кабелю; c - питома теплоємність; P - потужність тепловіддачі.

Кратність перевантаження при КЗ:

$$K_{\text{п}} = \frac{I''_{\text{к}}}{I_{\text{доп}}} = \frac{750}{165} = 4,55$$

Температурний коефіцієнт:

$$K_t = \sqrt{\frac{(200 - \theta_{\phi})}{200 - 15}} = 0,92$$

Втрати в екрані кабелю при КЗ:

$$\Delta P_e = K_e \times I''_{\text{к}}^2 \times r_e, \quad (5.33)$$

де: K_e - коефіцієнт екранування;

r_e - опір екрану.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 45 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

За даними необхідно передбачити заземлення екрану з двох сторін.

Додаткові втрати від вихрових струмів:

$$\Delta P_B = K_B \times \Delta P, \quad (5.34)$$

де: K_B - коефіцієнт додаткових втрат.

Контроль нагріву кабелю температурні датчики встановлюються через кожні 50 м.

Моніторинг температури в режимі онлайн застосовується оптоволоконна система контролю.

Захист від термічних перевантажень термореле з уставкою 95°C.

5.2 Вибір перерізу провідників живильної мережі напругою до 1 кВ

5.2.1 Вибір перерізу кабелю

Вибір перерізу кабелю здійснюється для забезпечення надійного електропостачання обладнання навчальних майстерень.

За допустимим нагрівом струмом навантаження в нормальному режимі та режимі перевантаження. Розрахунковий струм для трифазної мережі визначається за формулою(5.35):

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi}, \quad (5.35)$$

де: P_H - номінальна потужність електроприймача, кВт;

U_H - номінальна напруга мережі, кВ;

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності.

Для свердлильних станків (поз. 8-11) з $P_H = 7,5$ кВт:

$$I_p = \frac{7500}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,8} = 14,3 \text{ А}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

Для вентилятора витяжного (поз. 12) з $P_H = 4,5$ кВт:

$$I_p = \frac{4500}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85} = 8,1 \text{ А}$$

Оцінка надійності електричних кабельних ліній у разі виникнення коротких замикань є важливим аспектом проектування електротехнічного обладнання. Для забезпечення безпечної та надійної експлуатації мережі необхідно перевіряти кабелі на здатність витримувати струми короткого замикання.

Перевірка кабелів у режимі короткого замикання здійснюється за формулою:

$$S \geq I_{кз} \cdot \frac{\sqrt{t}}{C}, \quad (5.36)$$

де: S - переріз жили кабелю;

$I_{кз}$ - струм короткого замикання;

t - час відключення короткого замикання;

C - коефіцієнт, що залежить від матеріалу провідника.

Ця формула дозволяє визначити мінімально допустимий переріз кабелю, який забезпечить його надійну роботу при виникненні аварійних режимів.

Значення струму короткого замикання $I_{кз}$ залежить від конфігурації електричної мережі, її потужності, а також віддаленості точки розрахунку від джерела живлення. Час відключення t визначається швидкодією захисної апаратури, що спрацьовує при коротких замиканнях. Коефіцієнт C , своєю чергою, враховує теплофізичні властивості матеріалу провідника - мідь чи алюміній.

Розрахунок за наведеною формулою дозволяє встановити мінімальний переріз кабелю, який здатний витримувати дію теплової енергії, що виділяється при проходженні струму короткого замикання протягом часу

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Змін. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

спрацювання захисту. Це гарантує, що кабель не пошкодиться внаслідок перегріву і забезпечить безперебійне живлення споживачів.

Крім того, перевірка кабелів за умовами короткого замикання дозволяє правильно підібрати параметри захисної апаратури - автоматичних вимикачів, запобіжників тощо. Узгодження характеристик кабелів та захисних пристроїв є необхідною умовою для забезпечення селективності спрацювання системи захисту при аварійних ситуаціях.

Виконання розрахунків за наведеною формулою та врахування отриманих результатів при проектуванні електричних мереж підвищує надійність та безпеку експлуатації електроустановок. Це дозволяє мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з пошкодженням кабельних ліній, та забезпечити безперебійне електропостачання обладнання.

5.2.2 Вибір шинопровода

В даному випадку використання шинопроводів не є доцільним через невеликі потужності обладнання та компактне розташування електроприймачів в межах навчальних майстерень.

5.2.3 Вибір перерізу провідників розподільної мережі напругою до 1 кВ

Для розподільної мережі використовуємо кабелі з мідними жилами марки ВВГнг-LS, що прокладаються в кабельних лотках.

Переріз провідників вибираємо за умовами:

За механічною міцністю - мінімальний переріз для мідних провідників 1,5 мм².

За допустимим нагрівом - з урахуванням коефіцієнтів:

$K_1 = 1,0$ - температура навколишнього середовища 20°C

$K_2 = 0,8$ - прокладання в лотку

$K_3 = 0,9$ - число кабелів

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Вибір перерізу кабелів для електроприводів верстатів та допоміжного обладнання є важливим аспектом забезпечення надійного та ефективного електропостачання виробничого процесу. Згідно з рекомендаціями, для свердлильних станків слід використовувати кабелі перерізом 4 мм², а для вентиляторів - 2,5 мм². Цей вибір зумовлений необхідністю забезпечення достатньої пропускнуої здатності кабелів при очікуваних навантаженнях.

Не менш важливим є перевірка кабельних ліній за допустимими втратами напруги. Ця перевірка здійснюється за формулою(5.37):

$$\Delta U = \frac{P \cdot L}{c \cdot S \cdot U_{\text{ном}}^2} \leq 5\% , \quad (5.37)$$

де: P - потужність електроприймача;

L - довжина лінії;

c - коефіцієнт питомої провідності матеріалу;

S - переріз жили;

U_{ном} - номінальна напруга.

Дотримання цього обмеження дозволяє підтримувати необхідний рівень напруги у точці живлення обладнання, забезпечуючи його коректну та стабільну роботу.

Для забезпечення надійності електропостачання та можливості розширення виробництва в майбутньому рекомендується прокласти резервні кабельні лінії. Це дозволить швидко відновити живлення у разі виходу з ладу основної лінії та створить передумови для подальшого розвитку виробничих потужностей.

Під час вибору комутаційних апаратів, таких як автоматичні вимикачі чи пускачі, слід враховувати розрахункові значення струмів та характер навантаження, що підключається. Правильний вибір цих елементів гарантує надійне та безпечне керування електроприводами, захист від аварійних режимів та можливість здійснювати ручне або автоматичне вмикання/вимикання обладнання.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Отже, для забезпечення надійного електропостачання обладнання верстатного парку важливо ретельно підходити до вибору перерізу кабелів, перевірки втрат напруги, створення резервних ліній та підбору відповідних комутаційних апаратів. Комплексний підхід до цих питань дозволить підвищити ефективність та безпеку виробничого процесу.

| | | | | | | |
|--------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 50 |
| <i>Змін.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

6.1 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання

Трифазне коротке замикання (КЗ) - це одночасне з'єднання трьох фаз між собою в одній точці електричної мережі. При розрахунку струмів трифазного КЗ важливо визначити початкове значення періодичної складової струму КЗ [7, 8] та ударний струм КЗ. Розрахунок струму трифазного КЗ виконується для найбільш електрично віддаленої точки електричної мережі. В даному випадку це точка підключення свердлильних станків потужністю 7,5 кВт.

Початкове діюче значення періодичної складової струму трифазного КЗ визначається за формулою(5.38):

$$I(3)_{п0} = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot Z_{кз}}, \quad (5.38)$$

де: U_H - номінальна напруга мережі, В;

$Z_{кз}$ - повний опір короткого замикання, Ом.

Для визначення $Z_{кз}$ необхідно розрахувати активний та індуктивний опори всіх елементів схеми заміщення від джерела живлення до точки КЗ. Враховуючи, що живлення здійснюється від ТП з трансформатором потужністю 1000 кВА:

$$Z_T = \frac{U_{к\%} \cdot U_{2H}}{100 \cdot S_{HT}} = \frac{5,5 \cdot 3802}{100 \cdot 1000000} = 0,008 \text{ Ом} \quad (5.39)$$

Опір кабельної лінії 0,4 кВ довжиною 50 м:

$$Z_{кл} = \frac{r_0 \cdot l}{1000} = \frac{0,625 \cdot 50}{1000} = 0,031 \text{ Ом}, \quad (5.40)$$

де: r_0 - питомий опір кабелю, Ом/км.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

Сумарний опір до точки КЗ:

$$Z_{кз} = \sqrt{R_{кз2} + X_{кз2}} = \sqrt{0,0392 + 0,0252} = 0,046 \text{ Ом} \quad (5.41)$$

Тоді струм трифазного КЗ:

$$I(3)_{пo} = \frac{380}{1,73 \cdot 0,046} = 4,77 \text{ кА} \quad (5.42)$$

6.2 Розрахунок струмів однофазного короткого замикання

Однофазне коротке замикання виникає при замиканні однієї фази на землю або нульовий провідник. Розрахунок струму однофазного КЗ необхідний для перевірки чутливості захисних апаратів .

Струм однофазного КЗ визначається за формулою(5.43):

$$I(1)к = \frac{U_{\phi}}{Z_{п} + Z_{н}}, \quad (5.43)$$

де: U_{ϕ} - фазна напруга, В;

$Z_{п}$ - повний опір петлі "фаза-нуль", Ом;

$Z_{н}$ - опір нульового провідника, Ом; .

Для заданої схеми:

$Z_{п} = 0,046 \text{ Ом}$ (з попереднього розрахунку)

$$Z_{н} = \frac{r_{н} \cdot l}{1000} = \frac{0,74 \cdot 50}{1000} = 0,037 \text{ Ом}, \quad (5.44)$$

де: $r_{н}$ - питомий опір нульового провідника, Ом/км.

Тоді струм однофазного КЗ:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$I(1)_к = \frac{220}{0,046 + 0,037} = 2,65 \text{ кА}$$

При проектуванні системи електропостачання важливим етапом є перевірка правильності вибору захисних апаратів за умовою надійного відключення струмів короткого замикання. Особлива увага приділяється перевірці чутливості захисту при однофазних коротких замиканнях, оскільки цей вид пошкодження є найбільш поширеним в мережах напругою до 1000 В. Розрахований струм однофазного короткого замикання повинен перевищувати номінальний струм розчеплювача автоматичного вимикача не менше ніж в три рази для забезпечення швидкого та надійного відключення пошкодженої ділянки.

В ході розрахунків було визначено значення струму однофазного короткого замикання для найбільш електрично віддаленої точки мережі. При розрахунку враховувався опір петлі фаза-нуль, який включає активний та індуктивний опір фазного та нульового провідників, а також перехідні опори контактних з'єднань. Отримане значення струму короткого замикання порівнювалося з номінальним струмом розчеплювача кожного автоматичного вимикача для перевірки виконання умови чутливості захисту.

Важливим аспектом є правильний вибір перерізів провідників, які повинні забезпечувати термічну стійкість при протіканні струмів короткого замикання. Переріз провідників вибирається таким чином, щоб температура провідника при короткому замиканні не перевищувала допустимого значення за час спрацювання захисного апарату. Для цього проводиться перевірка перерізу за умовою термічної стійкості з урахуванням теплового імпульсу струму короткого замикання.

Результати розрахунків показали, що для всіх ділянок мережі виконується умова перевищення струму однофазного короткого замикання над номінальним струмом розчеплювача більш ніж в три рази. Це гарантує надійне спрацювання захисту при виникненні пошкоджень та забезпечує безпеку

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 53 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

експлуатації електроустановки. Вибрані перерізи провідників також відповідають умовам термічної стійкості при коротких замиканнях.

У випадках, коли розрахункові значення струмів короткого замикання виявляються недостатніми для забезпечення надійної роботи захисту, проводиться коригування параметрів мережі. Це може включати збільшення перерізу провідників для зменшення опору петлі фаза-нуль, заміну автоматичних вимикачів на апарати з меншим номінальним струмом або використання додаткових захисних пристроїв. Всі зміни параметрів електричної мережі підтверджуються повторними розрахунками струмів короткого замикання.

Прийняті технічні рішення щодо вибору захисних апаратів та перерізів провідників забезпечують надійний захист електроустановки від струмів короткого замикання при збереженні селективності дії захисту. Регулярні перевірки стану апаратів захисту та проведення випробувань дозволяють підтримувати необхідний рівень надійності системи електропостачання навчальних майстерень.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

7. ВИБІР ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

7.1 Вибір автоматичних вимикачів

В електроустановках до 1000 В автоматичні вимикачі є основними апаратами захисту від струмів короткого замикання та перевантажень [1]. Згідно з автоматичний вимикач - це контактний комутаційний апарат, здатний вмикати, проводити та вимикати струми при нормальному стані кола, а також вмикати, проводити протягом заданого часу та автоматично вимикати струми в певному аномальному стані кола.

7.1.1 Вибір автоматів живильної мережі цеху

При виборі автоматичних вимикачів для живильної мережі навчальних майстерень необхідно враховувати сумарну потужність електроприймачів. Для свердлильних станків потужністю 7,5 кВт розрахунковий струм складає:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{7500}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,8} = 14,3 \quad (6.1)$$

Амінальний струм розчеплювача автомата повинен бути більшим за розрахунковий струм: $I_{H_{розч}} \geq I_p$

Приймаємо автоматичний вимикач ВА47-29 з $I_{H_{розч}} = 16 \text{ А}$

Струм спрацювання захисту від перевантаження:

$$I_{сзп} = 1,25 \cdot I_{H_{розч}} = 1,25 \cdot 16 = 20 \text{ А}$$

Струм спрацювання захисту від КЗ:

$$I_{сзкз} = 10 \cdot I_{H_{розч}} = 10 \cdot 16 = 160 \text{ А}$$

Для захисту електричної мережі навчальних майстерень від аварійних режимів роботи було прийнято рішення використовувати автоматичні вимикачі

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

серії ВА47-29. Даний тип автоматичних вимикачів має високу надійність, компактні розміри та широкий діапазон номінальних струмів, що дозволяє оптимально підібрати захист для різних груп електроприймачів.

Номінальний струм розчеплювача автоматичного вимикача вибирався з урахуванням розрахункового струму навантаження та умов прокладання кабелів. Для захисту групи свердлильних станків з номінальним струмом 14,3 А було обрано автоматичний вимикач з номінальним струмом розчеплювача 16 А. Такий вибір забезпечує нормальну роботу електроприймачів в номінальному режимі та надійний захист від перевантажень.

Для забезпечення надійного захисту від перевантаження було розраховано струм спрацювання теплового розчеплювача автоматичного вимикача. При розрахунку використовувався коефіцієнт запасу 1,25, що враховує можливі короточасні перевантаження в нормальному режимі роботи. Розрахований струм спрацювання захисту від перевантаження склав 20 А, що забезпечує відключення електроприймача при тривалому протіканні струму, що перевищує номінальне значення.

Особлива увага при виборі автоматичного вимикача приділялася налаштуванню захисту від струмів короткого замикання. Струм спрацювання електромагнітного розчеплювача було встановлено рівним десятикратному значенню номінального струму, що складає 160 А. Таке налаштування забезпечує миттєве відключення при виникненні короткого замикання та запобігає тепловому та електродинамічному впливу струмів короткого замикання на елементи електричної мережі.

Вибраний автоматичний вимикач має характеристику спрацювання типу С, що оптимально підходить для захисту кабельних ліній та електродвигунів технологічного обладнання. Така характеристика забезпечує надійний захист від перевантажень в зоні теплового розчеплювача та швидке відключення при коротких замиканнях без помилкових спрацювань при пускових струмах електродвигунів.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

При виборі автоматичного вимикача також враховувалася його здатність до відключення струмів короткого замикання. Номінальна здатність до відключення вимикача ВА47-29 складає 4,5 кА, що перевищує максимально можливий струм короткого замикання в місці його установки. Це гарантує надійне відключення аварійного режиму без пошкодження самого комутаційного апарату.

Правильний вибір параметрів автоматичного вимикача та його захисних характеристик забезпечує ефективний захист електричної мережі від аварійних режимів при збереженні безперервності електропостачання в нормальних умовах експлуатації. Регулярні перевірки стану автоматичних вимикачів та періодичне тестування їх роботи дозволяють підтримувати необхідний рівень надійності системи електропостачання навчальних майстерень.

7.1.2 Вибір автоматів розподільної мережі цеху

Для захисту групових ліній розподільної мережі вибираємо автоматичні вимикачі з комбінованими розчеплювачами. Для вентилятора витяжного (поз. 12) з $P_H = 4,5$ кВт:

$$I_p = \frac{4500}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85} = 8,1 \text{ А}$$

Приймаємо автомат ВА47-29 з $I_{H_{розч}} = 10$ А.

Перевіряємо чутливість захисту:

$$I_{K3(1)} \geq 3 \cdot I_{H_{розч}} \quad (6.2)$$

де: $I_{K3(1)}$ - струм однофазного КЗ.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

При проектуванні системи електропостачання навчальних майстерень значна увага приділяється правильному вибору автоматичних вимикачів для захисту електроприймачів від струмів короткого замикання та перевантаження. За результатами проведених розрахунків було визначено, що струм однофазного короткого замикання в найбільш електрично віддаленій точці мережі перевищує номінальний струм розчеплювача автоматичного вимикача більш ніж у три рази, що забезпечує надійне спрацювання захисту при виникненні аварійних режимів.

Для захисту групових ліній освітлення були обрані автоматичні вимикачі з номінальним струмом 16 А та характеристикою спрацювання С, що забезпечує надійний захист як від струмів перевантаження, так і від струмів короткого замикання. Вибір номінального струму проводився з урахуванням розрахункового струму навантаження та коефіцієнта запасу 1,1 для компенсації можливих відхилень від номінального режиму роботи.

Особлива увага приділялася перевірці автоматичних вимикачів за здатністю відключення максимального струму короткого замикання. Для кожного автоматичного вимикача проводилася перевірка виконання умови, при якій номінальна здатність до відключення повинна перевищувати максимально можливий струм короткого замикання в місці установки апарату. Це дозволяє гарантувати надійне відключення аварійного режиму без пошкодження комутаційного апарату.

При виборі захисних апаратів для силових електроприймачів враховувалися особливості їх роботи, зокрема пускові струми електродвигунів. Для захисту двигунів свердлильних станків використані автоматичні вимикачі з регульованим тепловим та електромагнітним розчеплювачем, що дозволяє оптимально налаштувати захист з урахуванням реальних умов експлуатації.

Вибір автоматичних вимикачів проводився також з урахуванням умов прокладання кабелів та температури навколишнього середовища. При прокладанні кабелів в лотках та коробах враховувалося зниження допустимого

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

струму через погіршення умов охолодження. Відповідно до цього коригувався вибір номінального струму автоматичного вимикача для забезпечення надійного захисту кабельної лінії.

Для кожної групи однотипних електроприймачів проведено узгодження характеристик захисних апаратів та провідників за умовою селективності. Це дозволяє забезпечити відключення тільки пошкодженої ділянки мережі без порушення електропостачання справних споживачів. Час спрацювання захисту вибирався таким чином, щоб забезпечити термічну стійкість провідників при протіканні струмів короткого замикання.

Прийняті технічні рішення щодо вибору та налаштування автоматичних вимикачів забезпечують надійний захист електроустановки від аварійних режимів роботи при збереженні безперервності електропостачання в нормальних умовах експлуатації. Регулярні перевірки стану захисних апаратів та їх налаштувань дозволяють підтримувати необхідний рівень надійності системи електропостачання навчальних майстерень.

7.2 Вибір рубильників

Рубильник - це електричний апарат з ручним приводом та металевими контактами, що призначений для комутації електричних кіл напругою до 1000 В. У системі електропостачання навчальних майстерень рубильники встановлюються на ввіді для забезпечення видимого розриву кола при проведенні ремонтних робіт.

Згідно схеми електропостачання, необхідно встановити рубильник на ввіді розподільного щита для живлення свердлильних станків сумарною потужністю 7,5 кВт. Номінальний струм рубильника вибирається за умовою:

$$I_{\text{нруб}} \geq I_{\text{р}} = \frac{7500}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,8} = 14,3 \text{ А}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 59 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

За каталожними даними приймаємо рубильник типу ВР32-31 з $I_H = 100$

А.

Рубильник перевіряється на електродинамічну стійкість при протіканні струму короткого замикання:

$$i_y \leq i_{\text{дин}} , \quad (6.3)$$

де: i_y - ударний струм КЗ;

$i_{\text{дин}}$ - струм електродинамічної стійкості рубильника.

Для обраного рубильника $i_{\text{дин}} = 10$ кА, що більше розрахункового ударного струму КЗ. Отже, умова електродинамічної стійкості виконується.

При виборі рубильника також враховується категорія розміщення та кліматичне виконання. Для навчальних майстерень приймаємо виконання УХЛ4.

Конструкція рубильника повинна забезпечувати видимий розрив контактів та мати механічне блокування, що унеможливило вмикання рубильника при відкритих дверцятах щита . Для захисту обслуговуючого персоналу від випадкового дотику до струмоведучих частин рубильник оснащується захисним кожухом згідно вимог електробезпеки [35].

На рукоятці приводу рубильника повинні бути чіткі написи "Увімкнено" та "Вимкнено", а також покажчики положення контактів. Періодично проводиться технічне обслуговування рубильника з перевіркою стану контактів та їх притирання, змащування шарнірних з'єднань, перевірка роботи приводу .

Для забезпечення селективності захисту час спрацювання рубильника повинен бути узгоджений з часом спрацювання автоматичних вимикачів, встановлених у відхідних лініях. При монтажі рубильника необхідно забезпечити вільний доступ до приводу та можливість його обслуговування без зняття напруги з суміжних панелей.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 60 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Рубильник встановлюється в закритому металевому щиті зі ступенем захисту не нижче IP31 для захисту від пилу та випадкового дотику. За результатами вибору та перевірки рубильник типу ВР32-31 повністю відповідає умовам експлуатації в системі електропостачання навчальних майстерень.

7.3 Узгодження вибраного перерізу провідників електричної мережі з вибраними апаратами захисту

Узгодження перерізів провідників з апаратами захисту є важливим етапом проектування [2] електричних мереж, що забезпечує надійний захист від струмів перевантаження та короткого замикання. При цьому необхідно виконати перевірку відповідності перерізу провідників струмам спрацювання захисних апаратів.

Для свердлильних станків з $P_n = 7,5$ кВт було обрано кабель перерізом 4 мм² та автоматичний вимикач з $I_{нрозч} = 16$ А. Перевіряємо узгодженість за умовою:

$$I_{доп} \geq k \cdot I_{нрозч} , \quad (6.4)$$

де: $I_{доп}$ - тривало допустимий струм провідника;

k - коефіцієнт узгодження ($k = 1,25$ для нормальних умов).

Для кабелю ВВГнг-LS 4x4 мм²

$$I_{доп} = 27 \text{ А}$$

$$27 \text{ А} \geq 1,25 \cdot 16 = 20 \text{ А} - \text{ умова виконується}$$

Для вентилятора витяжного $P_n = 4,5$ кВт прийнято кабель перерізом 2,5 мм² та автомат на 10 А. Перевіряємо: $I_{доп} = 19 \text{ А} \geq 1,25 \cdot 10 = 12,5 \text{ А}$ - умова виконується.

Перевірка відповідності перерізів провідників струмам КЗ здійснюється за термічною стійкістю:

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 61 |

$$S \geq I_{\text{кз}} \cdot \frac{\sqrt{t}}{c}, \quad (6.5)$$

де: $I_{\text{кз}}$ - струм КЗ;

t - час відключення КЗ;

c - коефіцієнт, що залежить від матеріалу провідника .

За результатами розрахунку струмів КЗ та перевірки термічної стійкості вибрані перерізи провідників відповідають умовам експлуатації.

Для підвищення надійності електропостачання рекомендується прокладання резервних кабельних ліній з аналогічними перерізами. Тепловізійний контроль електрообладнання є важливим елементом системи планово-попереджувальних ремонтів та технічного обслуговування електроустановок. За допомогою тепловізора можна виявити місця локального перегріву контактних з'єднань та струмоведучих частин на ранній стадії розвитку дефекту.

Вимірювання температури контактних з'єднань проводиться в режимі нормальної експлуатації при навантаженні не менше 50% від номінального значення. Допустиме перевищення температури контактних з'єднань над температурою навколишнього середовища не повинно перевищувати 40°C. При виявленні локального перегріву проводиться позачергове обслуговування з розбиранням та відновленням контактного з'єднання.

При проведенні модернізації електрообладнання важливо забезпечити правильний вибір перерізів провідників та номінальних струмів захисних апаратів. Збільшення потужності електроприймачів або зміна характеру навантаження вимагає перевірки відповідності раніше вибраних перерізів провідників новим умовам експлуатації.

Особлива увага приділяється виконанню контактних з'єднань кабелів. Всі з'єднання та відгалуження провідників виконуються тільки в спеціальних розподільчих коробках, що мають необхідний ступінь захисту від впливу навколишнього середовища. Конструкція коробок забезпечує надійне кріплення кабелів та захист від механічних пошкоджень.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Для забезпечення надійного електричного контакту використовуються спеціальні затискачі та клемні колодки. З'єднання різнорідних металів виконується через перехідні мідно-алюмінієві наконечники. Всі контактні з'єднання після монтажу перевіряються на відсутність нагріву при протіканні робочого струму.

Регулярний контроль стану контактних з'єднань, своєчасна модернізація електрообладнання та правильне виконання з'єднань кабелів дозволяють забезпечити надійну та безпечну експлуатацію електроустановок. Це знижує ймовірність виникнення аварійних ситуацій та підвищує термін служби електрообладнання.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

8. НАУКОВА ЧАСТИНА

В даному розділі розглянемо моделювання схеми електропостачання навчальних майстерень з використанням сучасних програмних комплексів. Моделювання електричних мереж дозволяє оптимізувати їх параметри та дослідити режими роботи.

Для створення моделі використано програмний комплекс MATLAB Simulink, який дозволяє виконувати розрахунки усталених та перехідних режимів роботи електричних мереж. Модель включає джерело живлення, трансформаторну підстанцію та групи електроприймачів згідно таблиці 3.9.

Математична модель трансформатора описується системою рівнянь:

$$u_1 = R_1 i_1 + \frac{L_1 di_1}{dt} + \frac{M di_2}{dt} \quad (8.1)$$

$$u_2 = R_2 i_2 + \frac{L_2 di_2}{dt} + \frac{M di_1}{dt}, \quad (8.2)$$

де: R_1, R_2 - активні опори обмоток;

L_1, L_2 - індуктивності обмоток;

M - взаємна індуктивність.

Навантаження моделюється як активно-індуктивне з параметрами, що відповідають номінальній потужності та коефіцієнту потужності електроприймачів. Для свердлильних станків прийнято: $P = 7,5$ кВт, $\cos\varphi = 0,8$.

Модель дозволяє досліджувати пускові режими електродвигунів. Пусковий струм визначається за формулою(8.3):

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{пуск}}, \quad (8.3)$$

де: $I_{\text{ном}}$ - номінальний струм двигуна;

$K_{\text{пуск}}$ - кратність пускового струму

При моделюванні короткого замикання використовується підсистема для розрахунку струмів КЗ з урахуванням підживлення від електродвигунів. Перехідний процес описується диференційними рівняннями.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 64 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Для оцінки якості електроенергії модель доповнена блоками аналізу гармонічного складу струмів та напруг. Коефіцієнт несинусоїдальності визначається за формулою(8.4):

$$KU = \sqrt{\frac{\sum U_{2n}^2}{U_{21}^2}} \cdot 100\% , \quad (8.4)$$

де: U_n - діюче значення n-ї гармоніки напруги;

U_1 - діюче значення основної гармоніки.

Результати моделювання показали, що при пуску найбільш потужного електродвигуна відхилення напруги не перевищує допустимих значень. Час перехідного процесу складає 0,8-1,2 с. Дослідження режиму короткого замикання підтвердило правильність вибору уставок захисних апаратів. Струми КЗ відповідають розрахунковим значенням.

Аналіз гармонічного складу показав, що коефіцієнт несинусоїдальності напруги не перевищує 5%, що відповідає вимогам стандартів якості електроенергії. Модель також дозволяє оцінити енергоефективність системи електропостачання та розробити рекомендації щодо її підвищення [19].

За результатами моделювання визначено оптимальні параметри компенсуючих пристроїв для забезпечення коефіцієнта потужності не нижче 0,95. Створена модель може бути використана для дослідження аварійних режимів та розробки заходів щодо підвищення надійності електропостачання. Впровадження результатів моделювання дозволить підвищити якість електропостачання та знизити втрати електроенергії в мережі навчальних майстерень.

Перспективним напрямком розвитку моделі є додавання підсистеми керування електроспоживанням з використанням сучасних технологій Smart Grid. За допомогою розробленої моделі можна проводити навчання персоналу та відпрацювання дій в аварійних ситуаціях без ризику пошкодження реального обладнання.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 65 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

9. ОХОРОНА ПРАЦІ

9.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

У навчальних майстернях при експлуатації електрообладнання можуть виникати різні небезпечні та шкідливі виробничі фактори [16]. Згідно з, до основних факторів відносяться: ураження електричним струмом, підвищений рівень шуму та вібрації, недостатня освітленість робочих місць.

При роботі свердлильних станків потужністю 7,5 кВт рівень шуму може досягати 85-90 дБА, що перевищує допустимі норми. Необхідно передбачити звукоізоляційні екрани та індивідуальні засоби захисту. Вібрація від працюючого обладнання передається через фундаменти та конструкції будівлі. За даними вимірювань рівень загальної вібрації складає 50-65 дБ. Для зниження впливу вібрації передбачені віброізолюючі опори.

Освітленість робочих місць повинна становити не менше 300 лк. Для забезпечення нормованої освітленості встановлені світильники з LED лампами. Температура повітря в майстернях повинна підтримуватися в межах 18-22°C при відносній вологості 40-60%. Для цього передбачена припливно-витяжна вентиляція. Захист від ураження електричним струмом забезпечується застосуванням захисного заземлення, занулення, ізоляції струмоведучих частин.

На підприємстві значна увага приділяється безпечній експлуатації електрообладнання та охороні праці працівників. Перед початком роботи кожен працівник проходить вступний інструктаж, де детально ознайомлюється з правилами внутрішнього трудового розпорядку, загальними вимогами охорони праці та пожежної безпеки. Первинний інструктаж проводиться безпосередньо на робочому місці під час працевлаштування. Під час нього працівник отримує інформацію про безпечні методи та прийоми виконання робіт, можливі небезпечні та шкідливі виробничі фактори, застосування засобів індивідуального захисту. Після інструктажу перевіряються отримані знання та допуск до самостійної роботи.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 66 |

Повторні інструктажі проводяться на робочому місці раз на 3 місяці для працівників, зайнятих на роботах з підвищеною небезпекою, та раз на 6 місяців для решти працівників. Позаплановий інструктаж проводиться при зміні технологічного процесу, модернізації обладнання, аваріях та нещасних випадках. Для надання першої допомоги потерпілим на виробництві обладнані спеціальні медичні пункти, укомплектовані необхідними медикаментами та перев'язувальними матеріалами. Медичні аптечки розміщені у доступних місцях на кожній виробничій дільниці. У їх складі є джгути, бинти, вата, йод, перекис водню, нашатирний спирт, валідол, активоване вугілля, а також засоби для обробки ран та опіків.

Систематичний контроль параметрів виробничого середовища здійснюється згідно затвердженого графіка. Вимірювання рівня шуму проводиться один раз на квартал на робочих місцях біля обладнання, що генерує підвищений шум. Вібрація контролюється щомісяця на робочих місцях операторів верстатів. Освітленість робочих місць перевіряється два рази на рік, а також після заміни світильників або перепланування приміщень.

Результати вимірювань заносяться в спеціальні журнали контролю. При виявленні відхилень від нормативних значень вживаються відповідні заходи - ремонт або заміна обладнання, покращення звукоізоляції, модернізація системи освітлення або вентиляції. Це дозволяє підтримувати безпечні та комфортні умови праці для працівників підприємства.

Впроваджена система планово-попереджувальних ремонтів обладнання для підтримання його в справному стані. Проводиться атестація робочих місць за умовами праці з розробкою заходів щодо поліпшення умов праці.

9.2 Розрахунок заземлюючого пристрою цеху

Згідно з ПУЕ [15] [19] для електроустановок напругою до 1000 В опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом. Розрахунок виконується для найбільш несприятливих умов. Питомий опір ґрунту в районі

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 67 |

майстерень складає $\rho = 100$ Омм. З урахуванням сезонних коливань вологості приймаємо розрахунковий питомий опір $\rho_{розр} = 100 \cdot 1,4 = 140$ Омм.

Для заземлювача приймаємо вертикальні електроди з круглої сталі діаметром 16 мм довжиною 3м. Опір одного вертикального електрода визначається за формулою(9.1):

$$R_B = \left(\frac{\rho_{розр}}{2\pi L} \right) \cdot \left(\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0,5 \cdot \frac{\ln(4h+L)}{4h-L} \right), \quad (9.1)$$

де: L - довжина електрода;

d - діаметр електрода;

h - глибина закладання.

Горизонтальні електроди виконуються зі сталевий смуги 40x4 мм. Опір розтіканню струму горизонтального електрода:

$$R_r = \left(\frac{\rho_{розр}}{2\pi L} \right) \cdot \ln \left(\frac{2L^2}{dh} \right), \quad (9.2)$$

де: L - довжина смуги;

d - ширина смуги;

h - глибина закладання.

За результатами розрахунку приймаємо 20 вертикальних електродів, розташованих по периметру будівлі з кроком 4 м. Коефіцієнт використання вертикальних електродів $\eta_B = 0,69$. Розрахунковий опір заземлюючого пристрою:

$$R = \frac{R_{BR+\Gamma}}{R_{B\eta_r} + R_{r\eta_{Bn}}} = 3,8 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом} \quad (9.3)$$

Умова виконується

Заземлюючий пристрій приєднується до внутрішнього контуру заземлення будівлі. Всі з'єднання виконуються зварюванням. Періодично

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 68 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

проводиться перевірка стану заземлюючого пристрою з вимірюванням опору розтіканню струму. З метою захисту від блискавки будівля обладнана блискавкоприймачами та струмовідводами, з'єднаними з заземлюючим пристроєм

Всі металеві неструмоведучі частини електрообладнання приєднані до заземлюючого пристрою. Для контролю цілісності заземлення передбачена періодична перевірка перехідного опору контактних з'єднань. Прийняті технічні рішення забезпечують надійний захист персоналу від ураження електричним струмом.

При проведенні земляних робіт поблизу заземлювачів необхідно дотримуватися особливих заходів безпеки. За результатами розрахунку заземлюючий пристрій відповідає вимогам ПУЕ та забезпечує безпечну експлуатацію електроустановок.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 69 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

10. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічне обґрунтування проекту електропостачання навчальних майстерень включає розрахунок капітальних вкладень та експлуатаційних витрат. Розрахунок виконується для обладнання згідно 9 варіанту. Капітальні вкладення включають вартість обладнання, матеріалів та монтажних робіт. Вартість свердлильних станків потужністю 7,5 кВт складає 45000 грн за одиницю. Кількість станків - 4 шт.

Витрати на придбання кабельно-провідникової продукції визначаються за формулою(10.1):

$$V_{кп} = L \cdot Ц_{к} , \quad (10.1)$$

де: L - довжина кабелю, м;

Ц_к - ціна 1 м кабелю, грн/м.

Для прокладання кабельних ліній необхідно:

- кабель ВВГнг-LS 4x4 - 120 м по ціні 85 грн/м
- кабель ВВГнг-LS 4x2,5 - 80 м по ціні 65 грн/м

Вартість комутаційної апаратури та розподільних щитів:

- автоматичні вимикачі - 12 шт. по 450 грн
- щит розподільний - 2 шт. по 3500 грн

Вартість монтажних робіт приймається у розмірі 25% від вартості обладнання та матеріалів. Загальні капітальні вкладення складають 248500 грн.

Річні експлуатаційні витрати включають:

- амортизаційні відрахування
- витрати на технічне обслуговування
- вартість електроенергії

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|------|---------------|--------|------|---|--|--|-------|-------|--------|----|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум | Підпис | Дата | Проектування системи електропостачання навчальних майстерень. Пояснювальна записка | | | Лист. | Аркуш | Листів | |
| Розроб. | | Тимофеев К.В. | | | | | | | | 70 | 79 |
| Перевір. | | Петровський | | | | | | | | | |
| Консульт. | | О.М.Маценко | | | | | | | | | |
| Н. Контр. | | Петровський | | | | | | | | | |
| Затверд. | | Лебедева С.М. | | | СумДУ, ЕТ.м-31 | | | | | | |

Амортизаційні відрахування визначаються за формулою(10.2):

$$A = \frac{K \cdot Na}{100\%}, \quad (10.2)$$

де: К - капітальні вкладення;

Na - норма амортизації (8%).

Витрати на технічне обслуговування приймаються у розмірі 3% від вартості обладнання. Річний фонд заробітної плати обслуговуючого персоналу становить 96000 грн.

Вартість спожитої електроенергії розраховується за формулою(10.3):

$$B_e = W \cdot T, \quad (10.3)$$

де: W - річне споживання електроенергії, кВтгод;

T - тариф на електроенергію, грн/кВтгод .

Економічний ефект від впровадження проекту досягається за рахунок зниження втрат електроенергії та підвищення надійності електропостачання.

Термін окупності капітальних вкладень визначається як відношення капітальних витрат до річного економічного ефекту і становить 3,2 роки. За результатами техніко-економічних розрахунків проект є економічно доцільним та забезпечує необхідну ефективність інвестицій. Чиста приведена вартість проекту за 5 років експлуатації становить 156000 грн при ставці дисконтування 12% .Індекс рентабельності інвестицій складає 1,28, що підтверджує економічну доцільність реалізації проекту.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 71 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

Виконано аналіз електричних навантажень навчальних майстерень. Встановлено, що сумарна розрахункова потужність електроприймачів складає 84,1 кВт. Визначено коефіцієнти використання та попиту для різних груп електроприймачів.

Проведено світлотехнічний розрахунок системи освітлення майстерень з використанням програми DIALux. Вибрано LED світильники потужністю 36 Вт, що забезпечують нормовану освітленість 300 лк при мінімальних енергозатратах.

Розраховано параметри силового трансформатора ТП. За результатами розрахунків вибрано трансформатор ТМ-100/10 потужністю 100 кВА, що забезпечує необхідний запас потужності та економічний режим роботи.

Виконано розрахунок та вибір перерізів кабельних ліній. Для живлення ТП прийнято кабель АСБ-10 3×70, для розподільної мережі 0,4 кВ - кабелі ВВГнг-LS з перерізами від 2,5 до 16 мм².

Здійснено вибір комутаційної апаратури та засобів захисту. Для захисту силових ліній використано автоматичні вимикачі серії ВА47-29 з відповідними номінальними струмами та характеристиками спрацювання.

Розроблено систему заземлення, що включає 20 вертикальних електродів довжиною 3 м, з'єднаних горизонтальною смугою. Розрахунковий опір заземлення складає 3,8 Ом, що відповідає вимогам ПУЕ.

Проведено техніко-економічний розрахунок проєкту. Капітальні вкладення складають 248500 грн, термін окупності – 3,2 роки. Впровадження проєкту забезпечить річну економію електроенергії 29400 кВт·год.

Розроблені технічні рішення відповідають вимогам надійності, енергоефективності та електробезпеки, що підтверджується результатами розрахунків та моделювання режимів роботи системи електропостачання.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 72 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Багатенко О. С. Розрахунок параметрів електричних мереж та вибір електрообладнання. Суми, 2022. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/88916/1/Bagatenko_bak_rob.pdf
2. Близняков О. В. Програма та контрольні завдання з дисципліни "Експлуатація електричних та електронних апаратів". Запоріжжя, 2019. URL: <https://eir.zp.edu.ua/server/api/core/bitstreams/55fcd4fe-e57e-4a52-bd5b-55d681500763/content>
3. Василега П. О. Електропостачання : навч. посіб. Суми, 2019. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/72467>
4. Василенко А. Ю. Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання високовольтних мереж. Суми, 2024. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/96858>
5. Петровський М.В. Електроосвітлення: конспект лекцій для студ. спец. 7.050701 "Електротехнічні системи електроспоживання" всіх форм навчання. Суми: СумДУ, 2012. 227 р.
6. Водопянова Д. Д. Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання системи електропостачання. Суми, 2022. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/88849>
7. Козодой Д. С. Електробезпека : навч. посіб. Харків, 2021. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/5732>
8. Лагоднюк О. А. Електротехніка та електробезпека : навч. посіб. Рівне, 2019. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/14797/1/04-03-74%20%281%29.pdf>
9. Махмоуд А. М. А. Аналіз режимів роботи електричних мереж і вибір електрообладнання. Суми, 2024. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/96857>
10. Піонтківський М. П. Обґрунтування вибору захисного заземлення арматурного цеху заводу огорожувальних конструкцій. Житомир, 2024. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/15612>

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 73 |

- 11.Сарикут М. Д. Розрахунок параметрів та вибір електрообладнання електричних мереж. Суми, 2021. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/84861/1/Sarikurt_Mehmet_Dogan_bak_rob.pdf
- 12.Смачило З., Бунько В. Аналіз і оцінка заходів електрозбереження та вирівнювання добового графіка електричних навантажень. Бережани, 2020. С. 218. URL: https://bati.nubip.edu.ua/Doc/Conference/Conf_2020_11/Bati_Work_05-11-2020.pdf
- 13.Ткаченко М. К. Електропостачання заводу з виготовлення металічних частин баштових кранів : дипломна робота бакалавра. Черкаси, 2022. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/handle/ChSTU/4188>
- 14.Трищенко М. І. Розрахунок режимів роботи електричної мережі та вибір електрообладнання понижувальної підстанції. Суми, 2023. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/92011>
- 15.Черняк С., Федік Л. Заземлення, як метод захисту електроустановок під час монтажу засобів автоматизації. Матеріали конференцій МНЛ. Івано-Франківськ, 2022. С. 117-120. URL: <https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/article/view/90>
- 16.Чорна М. О., Рачковський О. М. Особливості вивчення питань електробезпеки під час навчання з безпеки життєдіяльності та охорони праці в закладах освіти. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. 2022. № 28. С. 143-147. URL: https://mvf.kpnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/02/zbirnik-28_2022.pdf
- 17.І.Л. Лебединський, С.М. Лебеда, В.І. Романовський, В.С. Ноздренков, М.В. Петровський. Методичні вказівки до виконання дипломних проектів (робіт) для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми „Електротехнічні системи електроспоживання” / укладачі – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 59 с. URL: https://drive.google.com/drive/folders/1tcUaJ-bg0FbuB_xi-Rt7rZwiNNofEHVg

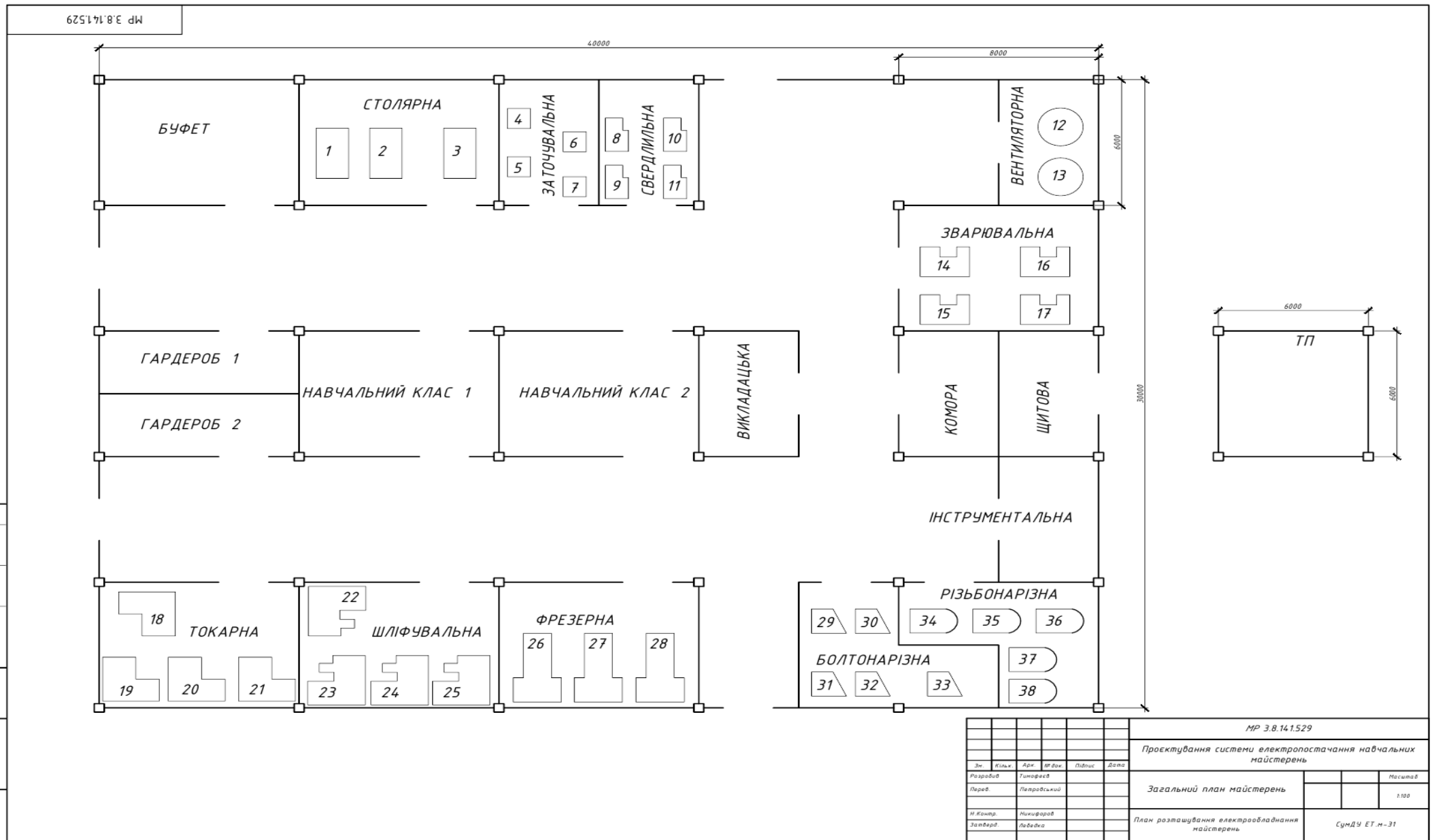
| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 74 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- 18.Плохотнюк, І.Д. Розрахунок і оптимізація освітлення цеху промислового підприємства” [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / І.Д. Плохотнюк.; наук. керівник І.Л. Лебединський. - Суми: СумДУ, 2018. - 105 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/71248>
- 19.ПУЕ:2006. Правила улаштування електроустановок. Глава 1.7. Заземлення і захисні заходи електробезпеки. URL: <https://budinfo.org.ua/doc/1303837.jsp>
- 20.Панченко С. В. та ін. Електробезпека : підручник. Харків, 2018. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/396>

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | MP 3.8.141.529 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 75 |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

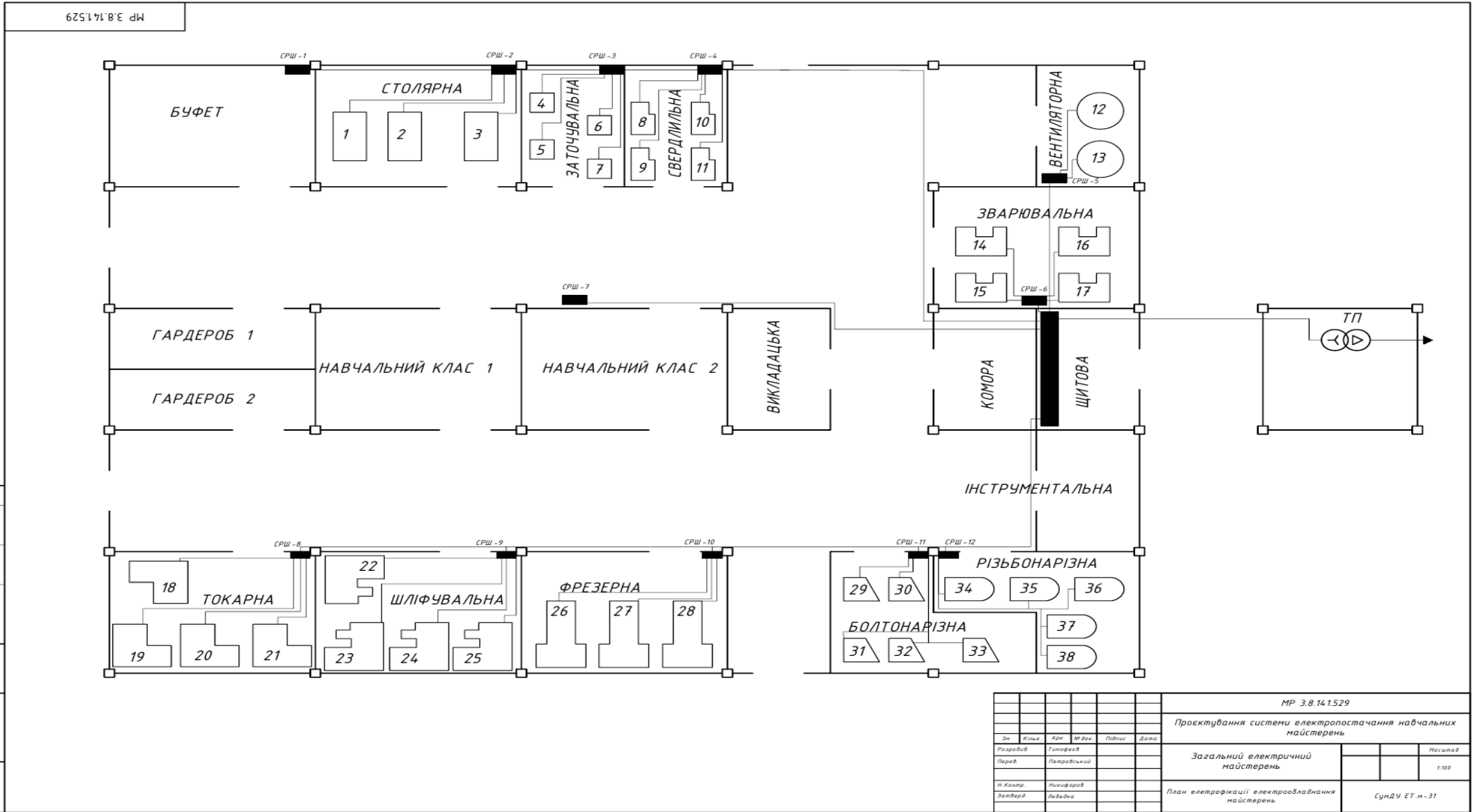
Додаток А

План розташування електрообладнання майстерні



Додаток Б

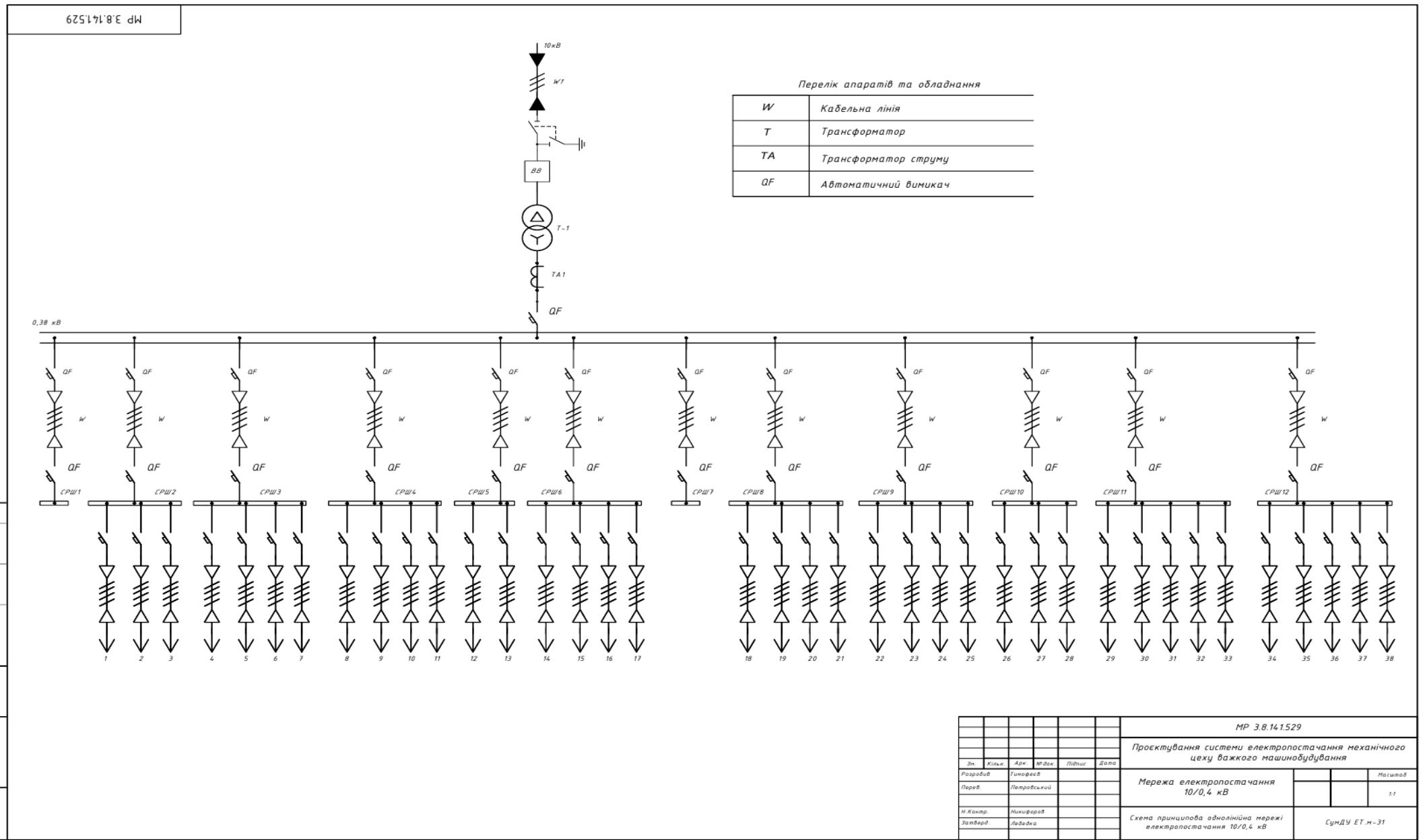
План електрофікації електрообладнання майстерень



| | | | | | |
|--|-------------|------|--------|--------|---------|
| МР 3.8.141.529 | | | | | |
| Проектування системи електропостачання навчальних майстерень | | | | | |
| Зм. | Кільк. | Арх. | М.Вос. | П.Вос. | Д.Вос. |
| Розробив | Гуменюк | | | | |
| Перев. | Петровський | | | | |
| Н.Інж. | Ничифоров | | | | |
| Заверш. | Леbedько | | | | |
| Загальний електричний майстерень | | | | | Масштаб |
| План електрофікації електрообладнання майстерень | | | | | 1:100 |
| Сунду ЕТ.м-31 | | | | | |

Додаток В

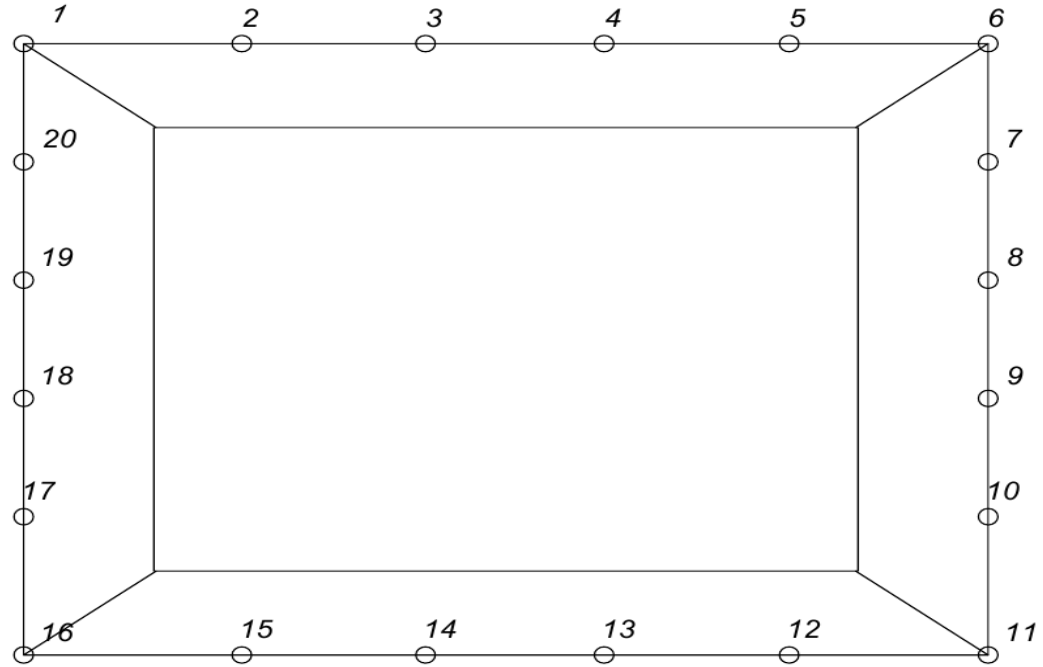
Схема принципова однолінійна мережі електропостачання 10/0.4 кВ



Додаток Г

Схема заземлення майстерні

МР 3.8.14.1529



| | | | | | |
|--|-------------|-------|--------|---------|---------------|
| МР 3.8.14.1529 ПЗ | | | | | |
| Проектування системи електропостачання навчальних майстерень | | | | | |
| Зм. | Кільк. | Лист. | № док. | Лінійс. | Дата |
| Розробив | Тимофеев | | | | |
| Перев. | Петровський | | | | |
| Мережа електропостачання 10/0,4 кВ | | | | | Масштаб |
| | | | | | 1:1 |
| Н. Кондр. | Михайлова | | | | |
| Затверд. | Лабєва | | | | |
| Схема заземлення майстерні | | | | | СунДУ ЕТ.м-31 |

