

Міністерство освіти і науки України

Сумський державний університет

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Завідувач кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## Магістерська робота

на тему:

**“Проектування системи електропостачання промислового підприємства та аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання”**

**Спеціальність 8.141 ”Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”**

Виконав студент гр. ЕТмдн-01п \_\_\_\_\_ Вакуленко С. О.

Керівник, доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_ Лебединський І. Л.

Консультанти:

по економічній частині доцент, к.е.н. \_\_\_\_\_ Маценко О.М.

по питанням охорони праці \_\_\_\_\_ Лебединський І. Л.

Нормоконтроль, ст. викладач \_\_\_\_\_ Єфімов Г.П.

Сумський державний університет  
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання  
Кафедра електроенергетики  
**Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

на магістерську роботу студента групи ЕТмдн-01п

Вакуленко Сергія Олександровича

1. Тема магістерської роботи: **“Проектування системи електропостачання промислового підприємства та аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання”**

затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Дата здачі роботи: \_\_\_\_\_ 2021 р.

3. Початкові дані роботи:

- Нормативні документи;
- План розміщення обладнання;
- Паспортні дані обладнання.

4. Зміст пояснювальної записки:

Вступ.

1. Технічні умови на проектування.
2. Визначення розрахункових електричних навантажень
3. Вибір комутаційного та захисного обладнання
4. Релейний захист заводської мережі 10 кВ та трансформаторів.
5. Аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання.
6. Економічна частина.
7. Охорона праці

Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу:

- 1 Генплан підприємства;
2. Силові мережі цеху
3. Однолінійна схема електропостачання;
4. Освітлювальні мережі цеху;
5. Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху;
6. Консультанти:

Розділ	Керівник	Завдання видав	Завдання прийняв
1	Лебединський І. Л.		
2	Маценко О.М.		
3	Лебединський І. Л.		

7. Дата видачі завдання:

\_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Лебединський І. Л.

Завдання отримав студент \_\_\_\_\_ Вакуленко С. О.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів магістерської роботи	Термін виконання
1	Дані для проектування системи електропостачання	1.11–10.11.21
2	Вибір комутаційного та захисного обладнання	11.11–20.11.21
3	Аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання.	20.11–24.11.21
4	Економічна частина.	25.11–30.11.21
5	Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи	01.12–10.12.21

Студент-дипломник \_\_\_\_\_ Вакуленко С. О.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Лебединський І. Л.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

с. 117, рис. 9, табл. 27, кресл.5

Бібліографічний опис: **“Проектування системи електропостачання промислового підприємства та аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання”** [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 8.141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Вакуленко С. О.; доцент, канд. техн. наук керівник І. Л. Лебединський. - Суми: СумДУ, 2021. - 117 с.

**Ключові слова:** реактивна потужність, компенсація, втрати електроенергії, картограми навантажень, центр електричних навантажень, електроприймач, підстанція, коротке замикання, струм, напруга, навантаження.

реактивная мощность, компенсация, потери электроэнергии, картограммы нагрузок, центр электрических нагрузок, электроприёмник, подстанция, короткое замыкание, ток, напряжение, нагрузки.

reactive power, compensation, power losses, load cartograms, center of electrical loads, power receiver, substation, short circuit, current, voltage, loads.

**Короткий огляд** – виконано розрахунок електричних навантажень і освітленості приміщень, вибір кількості та потужності цехової трансформаторної підстанції, вибір перерізу провідників напругою понад до 1 кВ, Вибір автомата живильної мережі цеху, розрахунок пікових струмів, розрахунок струмів короткого замикання. Було розглянуто релейний захист трансформатора на ГПП.

Проаналізовано інструкції охорони праці при монтажі систем електропостачання та освітлення.

## Перелік прийнятих скорочень

ККП – комплектне компенсаторное пристрій  
БСК – батарея статичних конденсаторів  
СЕП – система електропостачання  
ПП – промислове підприємство  
ГПП – Головна понижаюча підстанція  
НН- низька напруга  
ПС- підстанція  
ПУЕ- Правила улаштування електроустановок  
ЕП- електроприймач  
ТП- трансформаторна підстанція  
ЦЕН – Центр електричних навантажень  
РП- розподільний пункт  
КТП – Комплектна трансформаторна підстанція  
КЗ- коротке замикання  
КЛ – Кабельна лінія  
ПЛ – повітряна лінія  
ВН – Висока напруга  
ТС – трансформатор струму  
ТН – трансформатор напруги  
РЗ – релейний захист  
СВ – струмового відсічення

## Зміст

Вступ.....		8
1	Технічні умови на проектування .....	9
1.1	Короткий опис технологічних процесів .....	9
1.2	Загальні відомості про цехові навантаження.....	11
1.3	Загальні відомості про цехові навантаження.....	14
2	Визначення розрахункових електричних навантажень .....	19
2.1	Розрахунок системи електричного освітлення механічних майстерень .....	19
2.1.1	Вибір системи освітлення, типу освітлювального пристрою.....	19
2.1.2	Розрахунок робочого та аварійного освітлення.....	20
2.2	Розрахунок схеми електропостачання механічних майстерень .	27
2.3	Визначення кількості, потужності та місця розташування цехових ТП.....	35
2.4	Розрахунок картограми та визначення координат розміщення ЦРП	36
2.5	Розрахунок розподільчої мережі підприємства	44
3	Вибір комутаційного та захисного обладнання.....	47
3.1	Вибір комутаційної апаратури.....	47
3.2	Вибір високовольтних вимикачів .....	52
3.3	Розрахунок струмів КЗ.....	52
3.4	Перевірка вибраних вимикачів.....	55
4	Релейний захист заводської мережі 10 кВ та трансформаторів .....	57
5	Аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання	61
5.1	Вплив електромагнітних перешкод на системи електропоста-	62

					<b>МР.5.8.141.187.ПЗ</b>			
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	“Проектування системи електропостачання промислового підприємства та аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання”	Літ	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Вакуленко	Лебединский				В	6	117
Н. контр.	Єфімов Г.П					<b>СумДУ ЕТмдн-01п</b>		
Затверд.	Лебединский							



## Вступ

Співробітники проектних організацій, що займаються проблемами електрифікації та електроенергетики, вирішують наступні завдання:

- створення економічних, надійних систем електропостачання промислових підприємств;
- створення автоматизованих систем управління електроприводами, освітленням і технологічними процесами;
- впровадження мікропроцесорної техніки.

Співробітникам необхідно пам'ятати, що рішення проблем може бути отримано різними технологічними засобами. Дана багатоваріантність рішень задач систем електропостачання промислових підприємств обумовлює проведення техніко-економічних розрахунків (ТЕР), метою яких є економічне обґрунтування обраного технічного рішення.

Виконана система електропостачання промислового підприємства повинна бути надійною, економічною і забезпечувати надійність якості електроенергії. Тільки в цьому випадку систему можна назвати раціональною.

Необхідно відзначити, що система повинна бути гнучкою - тобто забезпечувати можливість розширення при розвитку підприємства без істотного ускладнення і подорожчання первинного варіанту. При цьому потрібно по можливості приймати рішення, які вимагають мінімальних витрат кольорових металів і електроенергії.

Більш того, при побудові системи електропостачання промислового підприємства необхідно враховувати численні фактори: споживану потужність і категорію надійності, розміщення електричних навантажень і т.п.

Завданням даної дипломної роботи є розробка надійної і доцільної в техніко-економічному відношенні системи зовнішнього і внутрішнього електропостачання промислового підприємства



# 1 Технічні умови на проектування

## 1.1 Короткий опис технологічних процесів

Будівельно-монтажне підприємство (БМП) в своєму складі має вапногасилку, ростворо-бетонний вузол, зварювальний цех, майстерні відділу головного механіка, полігон залізобетонних виробів, компресорну, арматурний цех, столярну майстерню, пилораму та побутові приміщення.

Одним з підрозділів БМП являється дистанція цивільних споруд. Основне завдання дистанції – будівництво, капітальний ремонт та поточний ремонт житлових, виробничих службово-технічних будівель і споруд.

Виробнича база складається з п'ятиповерхової адміністративної будівлі, встановлена потужність 20 кВт, де знаходиться бухгалтерія та інші кабінети.

На базу постачається негашене вапно, яке використовується для будівництва. У вапногасильці за допомогою води вапно гаситься і в подальшому використовується для будівельних робіт. Воно завантажується в автомобіль і транспортується на об'єкт, де проводяться будівельні роботи.

На території підприємства знаходиться компресорна, встановлена потужність якої 55 кВт. Він подає стиснене повітря на полігон залізобетонних виробів, де випробовуються залізобетонні фундаментні блоки, панелі, перекриття.

В БМП є арматурний цех, встановлена потужність якого 18 кВт. В арматурному цеху за допомогою ножиць ріжеться арматурне залізо, а також знаходиться два зварювальних пости для зварювання арматури, що використовується в залізобетонних виробках, а також для будівельних робіт.

Зварювальна (встановлена потужність 25 кВт) має три зварювальних пости, за допомогою яких здійснюється зварювання різних залізних конструкцій і для власних потреб, тобто для ремонту власної техніки та устаткування.

					MP.5.8.141.187.ПЗ			
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Вакуленко				Опис технологічного процесу	Літ	Аркуш	Аркушів
Керівник.	Лебединский					В	9	117
Н. контр.	Єфімов Г.П				СумДУ ЕТмдн-01п			
Затверд.	Лебединский							



матеріалів.

Вибір способу прокладання провідників виконується у відповідності з ПУЕ.

Радіальні схеми забезпечують високу надійність електропостачання. Однак вони вимагають великих витрат на електрообладнання і монтаж, тому деякі споживачі заживлені магістрально та радіально-магістрально.

## 1.2 Загальні відомості про навантаження підприємства

Будівельно-монтажне підприємства живиться від підстанції 110/35/10 кВ. Територія підприємства приблизно 135×100 метрів, площа приблизно 1,35 га.

Потужність з боку 10 кВ живильної підстанції системи не перевищує 70 МВА. Вхідна реактивна потужність в період максимуму системи, складає 90 кВАр. Довжина лінії живлення 1 км.

Враховуючи третю категорію електроспоживання за надійністю, об'єкт заживлюється одноцепною ЛЕП, цехові трансформаторні підстанції встановлюються однотрансформаторними, живлення цехових мереж та об'єкта в цілому, здійснюється від одного джерела живлення, що рекомендує ПУЕ.

Генплан підприємства показаний на рисунку 1.1.

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		11





випадку доцільніше заживляти такі цехи магістрально, що дасть змогу зменшити затрати на спорудження кабельних ліній, куди входить риття траншей і безпосередньо прокладка кабелю, яким буде заживлено той чи інший цех. Але не завжди таке заживлення може бути доцільним, оскільки тако також потрібно враховувати відстань розташування даних цехів від цехових ТП.

### 1.3 Загальні відомості про цехові навантаження

Для розрахунку дипломної роботи обирається майстерні відділу головного механіка, саме тому розглянемо відомості про електроспоживачів, специфіку та технологію даного цеху та цехового навантаження.

Основною роботою даного цеху являється токарна робота, а також ремонт техніки та устаткування.

В даному цеху знаходиться токарно-револьверний і токарно гвинторізний станки номінальними потужностями 3,5 і 11 кВт відповідно. Верстати токарної групи призначені для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь тіл обертання (циліндричної, конічної і фасонних), обробки плоских торцевих поверхонь (підрізання торців), нарізування різьби і деяких інших робіт. Для обробки отворів використовуються свердла, зенкери, розгортки та ін. Для нарізування різьб поряд із різьбонарізними різцями часто використають мітчики і плашки. Головний рух у всіх верстатів токарної групи — обертання заготовки. Подачею є поступальне переміщення інструментів уздовж або поперек осі шпинделя (поздовжня або поперечна). Токарно-гвинторізні верстати призначені для виконання всіх основних видів токарних робіт в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

Токарно-гвинторізні верстати є більш уживані, у порівнянні з токарними, тому що до складу даних верстатів входить механізм, що узгоджує головний рух з рухом подачі і тим самим дозволяє нарізати різьбу різних типів (метричну, дюймову, модульну, пітчеву і торцову). Верстати як правило мають високу жорсткість, достатню потужність, високі частоти обертання шпинделя, і це дозволяє обробляти деталі

на підвищених режимах різання. При обробці складних криволінійних поверхонь на верстатах можна застосовувати гідрокопіювальний супорт, що автоматизує процес обробки. При обробці отворів задня бабка за допомогою спеціального замка може з'єднуватися із супортом і одержувати механічну подачу. У фартуху є пружинна муфта, що дозволяє обробляти деталі по упорах, що також автоматизує процес обробки.

Токарно-револьверний верстат — верстат токарної групи з револьверною головою (замість задньої бабки), застосовується для багатоінструментальної обробки складних за конфігурацією поверхонь з пруткового матеріалу і штучних заготовок. На револьверних верстатах виконують операції точіння, розточування, свердління, зенкерування, накатування різьб та ін.

Також в даному цеху є настільний свердлильний станок, який виконує різання інструментом, що обертається (свердлом) з одночасним переміщенням в напрямку, паралельному осі обертання. При цьому траєкторія руху різання являє собою гвинтову лінію. Свердління використовують для отримання наскрізних отворів і гнізд круглого перетину, які призначені, наприклад, для дерев'яних шипів (шкантів) чи металічних кріпильних деталей (болтів, стержнів, шурупів). При зароблянні сучків та інших дефектів свердлінням усувають дефектні ділянки і на це місце встановлюють дерев'яну пробку.

Біля зовнішньої стіни приміщення розташовано два витяжних вентилятори, для очистки повітря, потужністю по 2 кВт кожний, а також вентилятор високого тиску, який забезпечує нагнітання повітря в горно кувалального відділення для нагрівання металу.

В майстернях відділу головного механіка знаходиться пневматичний молот, номінальна потужність якого 7,5 кВт, призначений для кувальних робіт по виготовленню кованих деталей. Ці деталі використовуються для ремонту будівельної техніки.

Прес-ножиці, номінальною потужністю 4,8 кВт, ріжуть листовий метал та виготовляють з нього металеві профілі.

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		15

Зарядний пристрій призначений для зарядки автомобільний акумуляторів та акумуляторів електрокар.

Електровулканізатор (1 кВт) призначений для ремонту автомобільних шин та гумових балонів для них.

Дистилятор номінальною потужністю 4,5 кВт призначений для дистиляції води, яку використовують в акумуляторах.

Стенд обкатування двигунів внутрішнього згорання (номінальна потужність 22 кВт) призначений для обкатування двигунів після капремонту для автомобільної та будівельної техніки (автомобілі, автокрани, бульдозери, скрепери і тд.).

Гідропрес призначений для ремонту карданних валів автомобільної та будівельної техніки (запресовування та розпресовування втулок та інших деталей).

Компресор номінальною потужністю 5,5 кВт призначений для нагнітання повітря в автотракторні шини.

Заточний станок (3,5 кВт) призначений для заточування слюсарних інструментів.

Настільний заточний станок (0,6 кВт) призначений для зачистки автомобільних гумових балонів при їх ремонті.

Горизонтально-фрезерний станок (12,8 кВт) використовується для фрезерування різноманітних деталей та запасних частин.

Майстерні відділу головного механіка забезпечують виготовлення, реконструкцію деталей та запасних частин, які використовуються в будівництві, експлуатації та ремонті, як будівель так і будівельної техніки.

Покажемо генплан майстерень відділу головного механіка, потужності, найменування споживачів та деякі розрахункові коефіцієнти ЕП (рис.1.2).

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		16



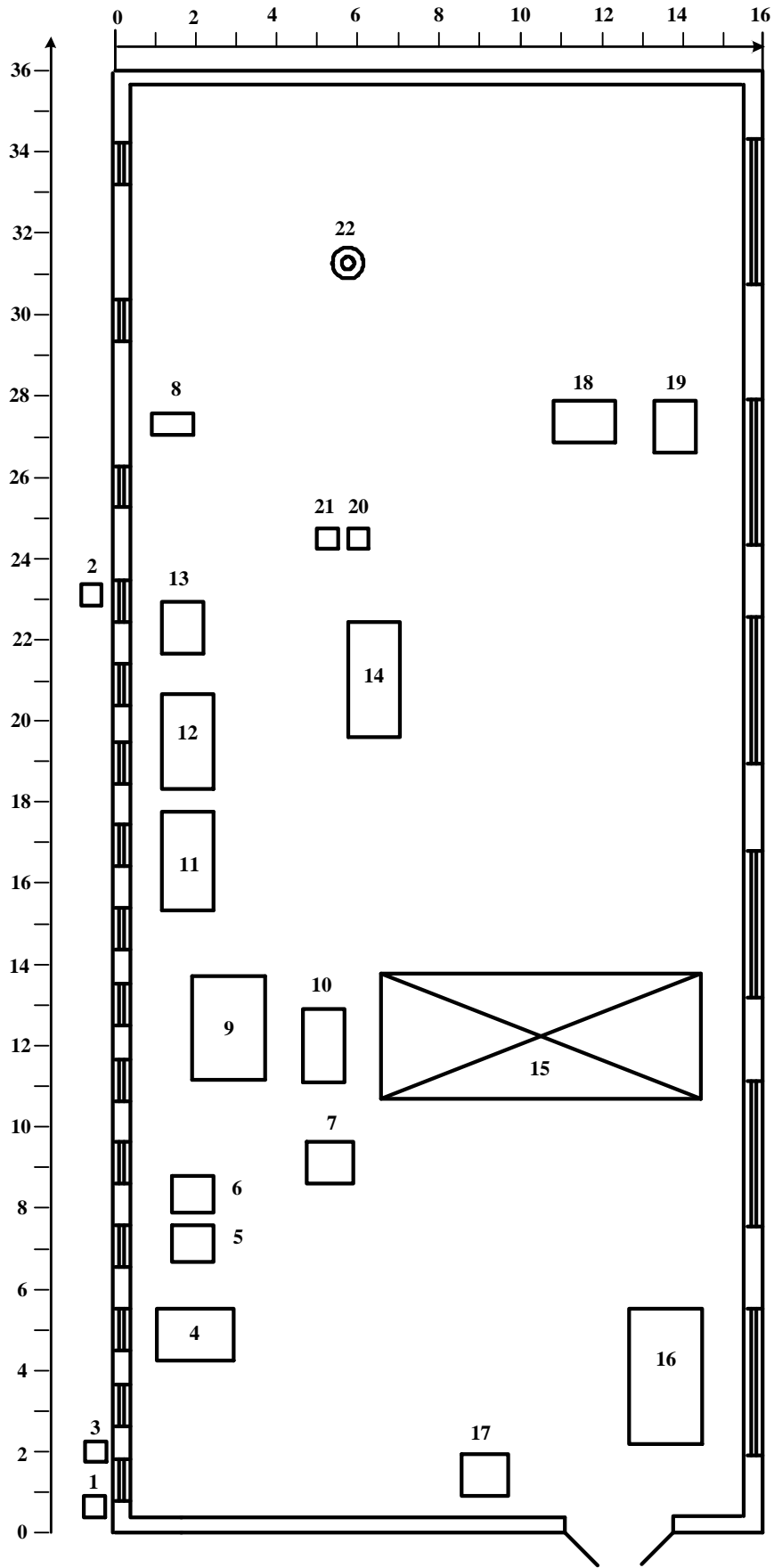


Рисунок 1.2 – Генплан майстерень відділу головного механіка

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

MP.5.8.141.187.ПЗ

Арк

17

Таблиця 1.2 – Відомості про електроприймачі механічних майстерень відділу головного механіка

№ п\п	Найменування ел. приймача	Марка ЕП	Номинальна потужність, кВт	cosφ	K <sub>в</sub>
1,2	Вентилятор витяжний	-	2	0,8	1
3	Вентилятор високого тиску	-	4,5	0,8	1
4	Молот пневматичний	МА4129	7,5	0,75	0,7
5	Станок свердлильний настільний	2М112	1,5	0,75	0,8
6	Настільний заточний станок	К1036	0,7	0,7	0,4
7	Прес-ножиці	Н5222А	4,8	0,8	0,5
8	Зарядний пристрій	УЗА75А	1,8	0,9	0,2
9	Горизонтально-фрезерний станок	6Р81	12,8	0,8	0,7
10	Вертикально-свердлильний стан.	2А135	3,5	0,8	0,7
11,12	Токарно-гвинторізний станок	1К62	11	0,75	0,3
13	Заточний станок	ТНЗС-2-300	7,5	0,8	0,8
14	Токарно-револьверний станок	ТнФА2	3,5	0,8	0,5
15	Мостовий кран	-	15,5	0,75	0,5
16	Стенд обкатування двигунів	-	22	0,75	0,6
17	Компресор	О-16А	5,5	0,8	0,9
18	Гідропрес	ОКС1671	2,2	0,7	0,5
19	Заточний станок		3,5	0,8	0,8
20	Електровулканізатор	-	1	0,75	0,2
21	Настільний заточний станок	ЗА-64	0,6	0,8	0,4
22	Дистилятор	ДЕ-4-2М	4,5	0,7	0,7

## 2 Визначення розрахункових електричних навантажень

### 2.1 Розрахунок системи електричного освітлення механічних майстерень

#### 2.1.1 Вибір системи освітлення, типу освітлювального пристрою

Для освітлення виробничих приміщень найбільшого поширення набули дві системи освітлення: загальна та комбінована.

Системи місцевого і загального освітлення, що застосовуються разом, утворюють систему комбінованого освітлення. Воно застосовується в приміщеннях, де виконуються точні наглядні роботи.

По функціональному призначенню розрізняють наступні види освітлення: робоче, аварійне і евакуаційне.

Робоче освітлення створює потрібну по нормам освітленість, забезпечуючи тим самим необхідні умови роботи при нормальному режимі експлуатації споруди.

Аварійне освітлення для продовження роботи повинно встановлюватися в приміщеннях, в яких різке відключення робочого освітлення може призвести до тяжких наслідків для людей і технологічного обладнання. При цьому освітленість на робочих поверхнях повинна складати не менше 5 % освітленості, встановленої для робочого освітлення цих поверхонь при системі загального освітлення, але не менше 2 Лк всередині споруд і не менше 1 Лк для території підприємства.

В освітлювальних установках загального освітлення застосовують трубчасті люмінесцентні лампи низького тиску. Люмінесцентна лампа представляє собою скляну трубу, внутрішня поверхня якої покрита люмінофором - речовина, що здатна флуоресцірувати. Вони мають ряд суттєвих переваг:

- 1) висока світлова віддача;
- 2) значний термін служби;

					МР.5.8.141.187.ПЗ			
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Вакуленко				Визначення розрахункових електричних навантажень	Літ	Аркуш	Аркушів
Керівник.	Лебединский					В	19	117
Н. контр.	Ефімов Г.П					СумДУ ЕТмдн-01п		
Затверд.	Лебединский							

3) відносно мала яскравість;

4) економічність.

Конструкція багатьох світильників з люмінесцентними лампами забезпечує не тільки індивідуальну установку, але і стикування в суцільну лінію, використання корпусів світильників в якості магістрального короба.

Згідно СніП II-4.79 «Искусственное и естественное освещение. Нормы проектирования» застосовуємо систему загального освітлення.

Враховуючи особливості технологічного процесу, в якості джерел світла використовуємо люмінесцентні лампи. Вони мають відносно високу світлову віддачу, покращений спектральний стан, який дозволяє забезпечити передачу кольорів, достатньо високу середню тривалість горіння (до 10000 годин).

Світильники обираються, виходячи з світлотехнічних, економічних, естетичних вимог, а також з урахуванням умов навколишнього середовища.

### **2.1.2 Розрахунок робочого та аварійного освітлення**

Розрахунок освітлення механічних майстерень відділу головного механіка (рисунок 1.2) будемо проводити методом коефіцієнта використання, який враховує відбивну складову освітленості від робочої поверхні, стелі і стін приміщення і застосовують його для розрахунку загального рівномірного внутрішнього освітлення горизонтальних поверхонь при відсутності затіняючого обладнання.

На промислових підприємствах близько 10 % використаної електроенергії витрачається на електричне освітлення. Умови штучного освітлення на промислових підприємствах створюють великий вплив на зорову працездатність, фізичний і моральний стан людини, а отже на продуктивність праці, якість продукції і виробничий травматизм.

Проектування освітлювальних установок полягає в розробці світлотехнічного та електричного розділів.







$$S_{розр} = \frac{M_M}{C \cdot \Delta U_{ж.м}} = \frac{90,9}{44 \cdot 2,5} = 0,826 \text{ мм}^2 \quad (2.10)$$

$$S_{розр} = 0,826 \approx 2,5 \text{ мм}^2$$

$$S_{розр.авар} = \frac{M_{1a}}{C \cdot \Delta U_{ж.м}} = \frac{9,6}{6,5 \cdot 2,5} = 0,59 \text{ мм}^2$$

$$S_{розр} = 0,59 \approx 2,5 \text{ мм}^2$$

Так як мінімальний переріз алюмінієвого проводу 2,5 мм<sup>2</sup>, то приймаємо кабель АВВГ 4 × 2,5 для ЩО, та провід АППВ 2 × 2,5 для ЩОа, яке бажано прокласти в самозатухаючій гофтрубці.

Фактичне значення втрат напруги:

$$\Delta U = \Delta U_{доп} \cdot \frac{S_{розр}}{S} = 2,5 \cdot \frac{0,826}{2,5} \approx 0,826 \%$$

$$\Delta U_{1a} = \Delta U_{доп} \cdot \frac{S_{розр}}{S} = 5 \cdot \frac{0,59}{2,5} \approx 1,178 \%$$

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Вибір перерізів живлячих ліній

	ЩО	ЩОа
Переріз, S, мм <sup>2</sup>	2,5	2,5
Фактичні втрати напруги, ΔU, %	0,826	1,178

Розраховуємо переріз проводу від ЩО до кожного ряду світильників.

Відстань до кожного ряду світильників:

$$L_1 = L_4 = 5 + 6 = 11 \text{ м}$$

$$L_2 = L_5 = 5 + 3 = 8 \text{ м}$$

$$L_3 = L_6 = 5 + 6 = 11 \text{ м}$$

Потужність освітлення кожної ділянки:

$$P_p = N \cdot n \cdot P_L \cdot K_{II} \cdot K_B = 21 \cdot 2 \cdot 0,08 \cdot 0,8 \cdot 1,35 = 3,629 \text{ кВт},$$

Моменти:



$$M_1 = M_4 = P_p \cdot L_1 = 3,629 \cdot 11 = 39,917 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = M_5 = P_p \cdot L_2 = 3,629 \cdot 8 = 29,032 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$M_3 = M_6 = P_p \cdot L_3 = 3,629 \cdot 11 = 39,919 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Переріз:

$$S_{\text{розр.1,4}} = \frac{M_1}{C \cdot \Delta U_{\text{доп.макс}}} = \frac{39,919}{44 \cdot 2,5} = 0,3629 \approx 2,5 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{розр.2,5}} = \frac{M_2}{C \cdot \Delta U_{\text{доп.макс}}} = \frac{29,032}{44 \cdot 2,5} = 0,2639 \approx 2,5 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{розр.3,6}} = \frac{M_3}{C \cdot \Delta U_{\text{доп.макс}}} = \frac{39,919}{44 \cdot 2,5} = 0,3629 \approx 2,5 \text{ мм}^2$$

Схема робочого та аварійного освітлення механічних майстерень відділу головного механіка, що розраховувалась, зображена на рисунку 2.1.

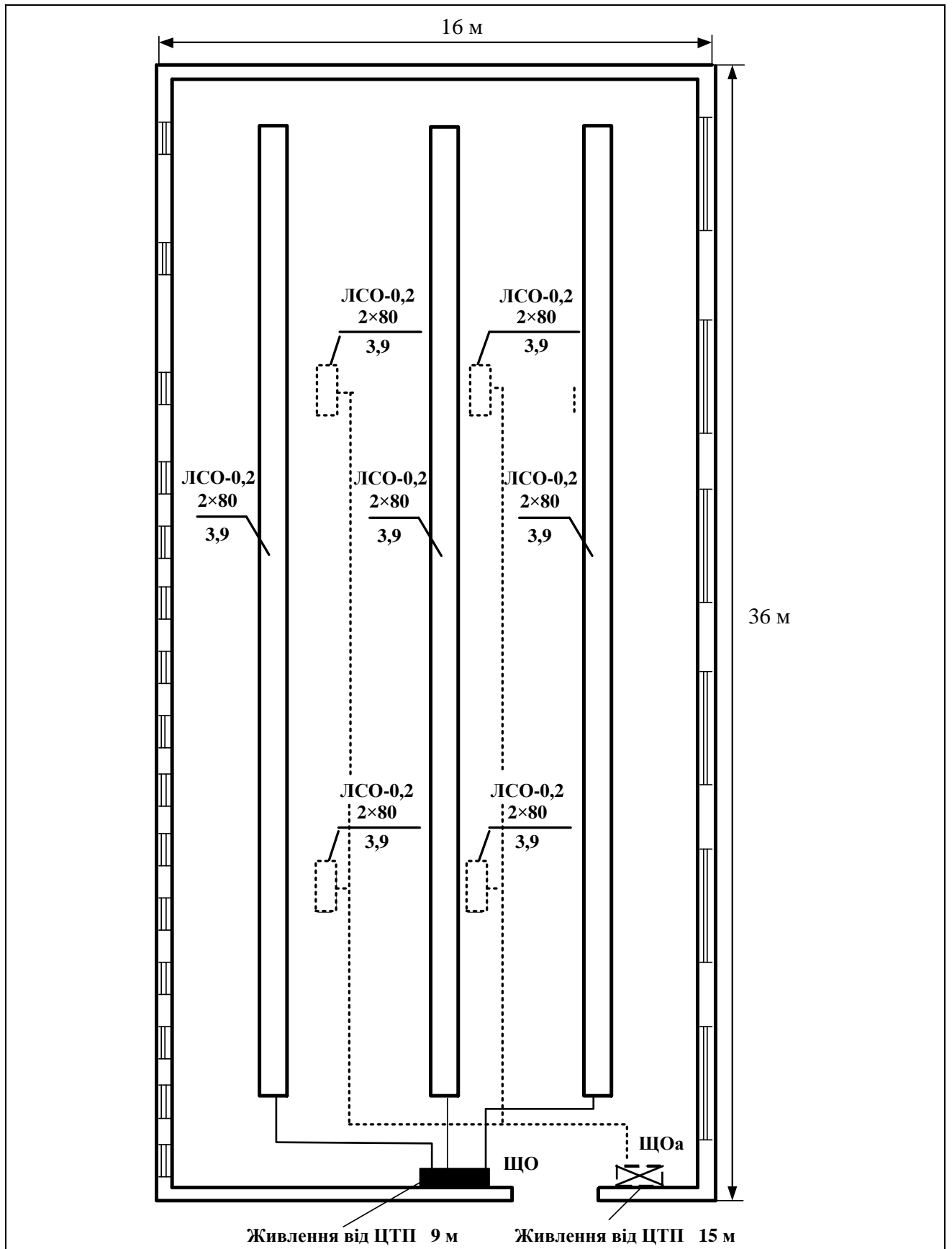


Рисунок 2.1 – Схема робочого та аварійного освітлення цеху

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

МР.5.8.141.187.ПЗ

Арк

26

В процесі розрахунку методом коефіцієнту використання були вибрані світильники ЛСО-02 2 × 80 з лампами ЛБ–80 Вт, для аварійного освітлення були вибрані такі ж світильники з такими ж лампами.

Був проведений також розрахунок перерізу і марки кабелю, яким необхідно живлювати щитки освітлення та кожна ділянка освітлення. В процесі розрахунку втрати напруги не перевищили 2,5 %.

## 2.2 Розрахунок схеми електропостачання механічних майстерень

Електричні навантаження (активні та реактивні) – найважливіші вихідні дані при проектуванні систем електропостачання промислових підприємств. По величині електричних навантажень вибираються елементи системи електропостачання, уставки захистів, розраховуються компенсації реактивної потужності, рівнів і засобів регулювання напруги, визначаються витрати і втрати електроенергії. У зв'язку з цим фактор точності визначення електричних навантажень при проектуванні набуває особливого значення. Завищення навантажень призводить до збільшення капітальних витрат, заниження – до зменшення надійності роботи системи електропостачання підприємства. В обох випадках приведені витрати на систему електропостачання підприємства будуть більше оптимального значення.

Розрахункові навантаження (на усіх ступенях розподільчих і живлячих мереж, включно з трансформаторами і перетворювачами) визначаються методом впорядкованих діаграм, який є основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання.

Розрахункова активна потужність  $P_p$  відповідає такому тривалому навантаженню струмом  $I_p$ , яке еквівалентно очікуваному змінному навантаженню по найбільш тяжкій тепловій дії – максимальній температурі або тепловому зносу ізоляції.

Розрахункове навантаження умовно приймається рівним імовірному максимальному значенню навантаження  $P_m$  за інтервал часу 30 хв. – так званий півгодинний максимум.

						MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			27

З багаточисельних випадкових факторів, від яких залежить утворення максимуму  $P_m$ , прийнято враховувати вплив лише різниці потужностей окремих електроприймачів. Для цього вводиться поняття про ефективне число електроприймачів  $n_e$  – число однорідних по режиму роботи електроприймачів однакової потужності, яке зумовлює ту ж величину, що й група з  $n$  різних по потужності і режиму роботи електроприймачів.

Навантаження для промислових електроприймачів розраховують за найбільш завантажену зміну, зазвичай першу.

Всі електроприймачі розбиваються на характерні групи з більш або менш однаковим режимом.

В дипломній роботі визначаємо розрахункове навантаження окремих груп електроприймачів і навантаження на шинах 0,4 кВ цехової ТП.

Вибираємо схему цехової мережі керуючись такими умовами: найближче розміщення РП до споживачів, споживачі, потужність яких більше 55 кВт, живляться безпосередньо від ЦТП.

В процесі розробки систем електропостачання проектувальник опирається на найважливіші вихідні дані – активні та реактивні навантаження. По величині електричних навантажень вибираються елементи системи електропостачання, уставки захистів, розраховуються компенсації реактивної потужності, рівнів і засобів регулювання напруги, визначаються витрати і втрати електроенергії. У зв'язку з цим фактор точності визначення електричних навантажень при проектуванні набуває особливого значення. Завищення навантажень призводить до збільшення капітальних витрат, заниження – до зменшення надійності роботи системи електропостачання підприємства. В обох випадках приведені витрати на систему електропостачання підприємства будуть більше оптимального значення.

Алгоритм визначення розрахункових навантажень цеху (рисунок 2.3).

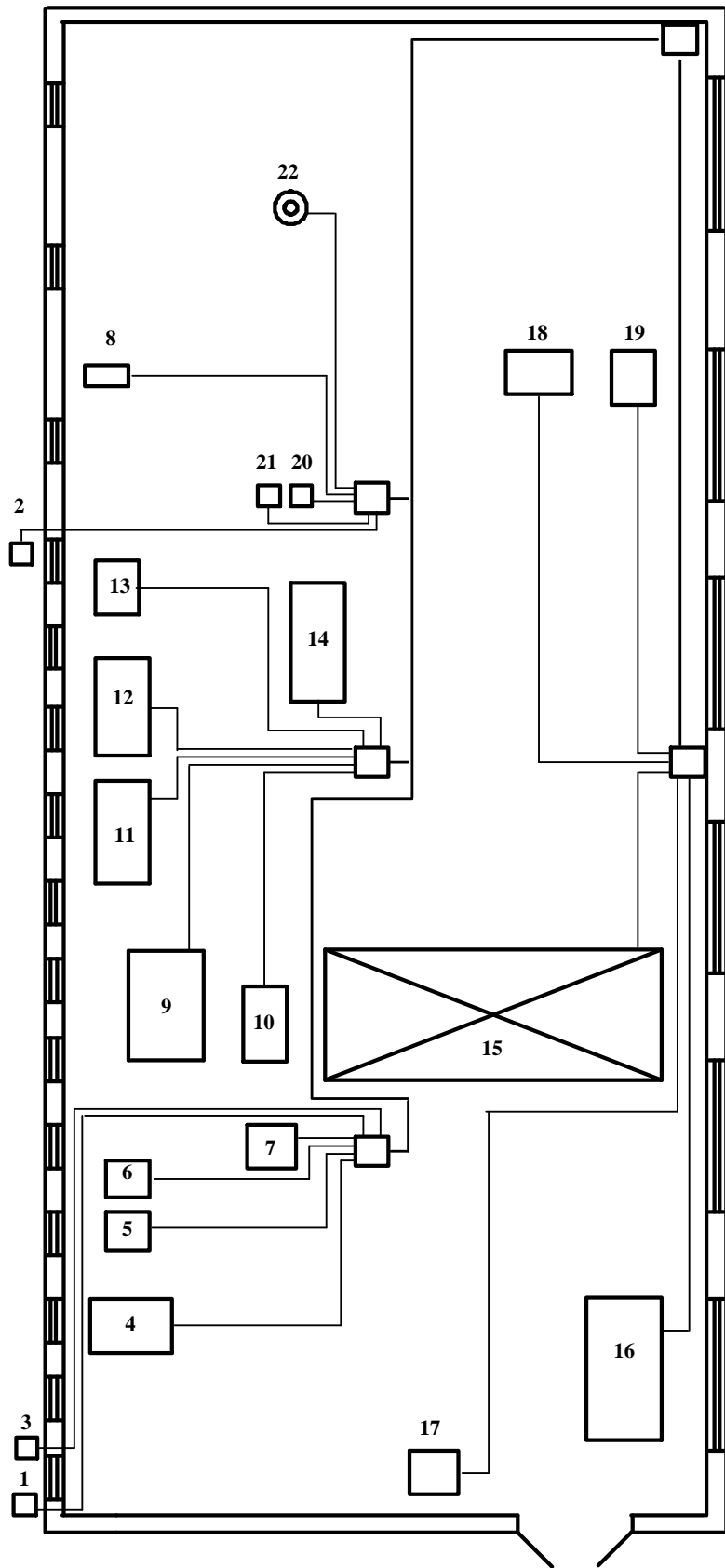


Рисунок 2.3 – Схема електропостачання цеху

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

МР.5.8.141.187.ПЗ

Арк

29



Так як у цеху немає електроспоживачів із повторно короткочасним режимом роботи, цю формулу не використовуємо. Розраховуємо ефективне число ЕП  $n_e$  для РП1 групи Б, формула якого має наступний вигляд:

$$n_e = \frac{(\sum P_{НОМ})^2}{\sum n \cdot P_{НОМ}^2}, \quad (2.15)$$

$$n_{e(P.1)} = \frac{15,52^2}{82,75} = 2,9$$

4) Визначаємо розрахункову активну потужність для РП1:

$$P_M = K_M \sum P_{CM.i}, \quad (2.16)$$

$$K_B = \frac{\sum k_{B.i} \cdot P_H^2}{\sum P_{НОМ}^2}, \quad K_B = \frac{0,28 + 2,4 + 2 + 4,5 + 5,25 + 1,2}{0,7 + 4,8 + 2 + 4,5 + 7,5 + 1,5} = 0,744$$

де – за відомими значеннями  $K_B$  та  $n_e$  виберемо з таблиці 1.1 [1] значення коефіцієнтів розрахункового максимуму навантаження  $K_M$ :

$$K_M = 1.$$

$$P_M = 1 \cdot 2 = 2 \text{ кВт.}$$

5) Реактивне розрахункове навантаження:  $Q_p = Q_{CM}$ , при  $n_E \leq 10$  для РП1:

$$A - Q_M = 1 \cdot \sum Q_{CM} \quad (2.17)$$

$$B - Q_M = \sum Q_{CM}$$

$$A - Q_M = 1 \cdot 2,25 = 2,25 \text{ кВАр}$$

$$РП1 - P_M = 17,244 \text{ кВт}$$

$$B - Q_M = 11,62 \text{ кВАр}$$

$$РП2 - Q_M = 13,873 \text{ кВАр}$$

6) Визначаємо повну розрахункову потужність для РП1:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \quad S_M = \sqrt{17,244^2 + 13,873^2} = 22,132 \text{ кВА} \quad (2.18)$$

7) Розрахунковий струм обчислюється за формулою:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad I_M = \frac{22,132}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 33,6257 \text{ А} \quad (2.19)$$

де  $U_H = 0,38 \text{ кВ.}$

8) За відомими значеннями розрахункового струму можна знайти повний струм  $I_{\Pi}$ :

$$I_{\Pi} = I_M - K_B \cdot I_{H.NAIB} + I_{ПУСК.NAIB}, \quad (2.20)$$

де  $I_{ПУСК.NAIB}$  знаходиться за формулою (при  $\cos\varphi = 0,75$ ):

$$I_{ПУСК.NAIB} = \frac{5 \cdot P_{H.MAKC}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi}, \quad I_{ПУСК.NAIB} = \frac{5 \cdot 7,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75} = 75,97 \text{ A} \quad (2.21)$$

$$I_{\Pi} = 33,83 - 0,7 \cdot 1,65 + 75,967 = 108,67 \text{ A}$$

Розрахунок виконуємо аналогічно для кожного РП. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок параметрів для кожного РП

Найменування ЕП	Кількість ЕП, шт		Номінальна потужність, кВт		Коефіцієнт використання, $K_B$		Коеф. потужності		$P_{ЗМ} = K_B \cdot P_H$	$Q_{ЗМ} = K_B \cdot P_H \cdot \text{tg} \varphi$	$n \cdot P^2_H$	Ефективне число ЕП, $n_E$	Сумарний коеф.викня, $K_{\Sigma}$	Коеф. розр. наванаження, $K_M$	Розрахункова потужність			Розрахунковий струм, $I_M$
	Одного, $P_H$	Загальна, $P_H$	$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$	Активна, кВт $P_M$	Реактивна, кВАр $Q_M$	Повна, кВА $S_M$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
РП1																		
Група А																		
5. Настільний заточний станок К1036	1	0,7	0,7	0,4	0,8	0,88	0,28	0,25	0,49				0,45	0,272	0,524	0,9		
6. Прес-ножиці Н5222А	1	4,8	4,8	0,5	0,8	0,75	2,4	1,8	23,04				3,84	1,98	4,32	7,3		
Всього по групі А	2		5,5				2,68	2,05	23,53	1,29	0,49	1,6	4,288	2,252	4,843			



Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Група Б																
1. Вентилятор ви-тяжний	1	2	2	1	0,8	0,75	2	1,5	4				2	1,65	2,59	3,8
2. Вентилятор вис. тиску	1	4,5	4,5	1	0,8	0,75	4,5	3,38	20,25				4,5	3,71	5,83	8,56
3. Молот пневма-тичний МА4129	1	7,5	7,5	0,7	0,8	0,88	5,25	4,63	56,25				5,25	5,1	7,32	10,65
4. Станок сверд-лильний настіль-ний К1036	1	1,5	1,5	0,8	0,8	0,88	1,2	1,06	2,25				1,2	1,16	1,672	2,43
Всього по групі Б	4		15,5				13	10,6	78,75	2,9	0,84	1	12,95	11,62	17,4	
Всього по РП1	6		21				15,6	12,6	102,28		4		17,24	13,87	22,24	33,83
РП2																
Група А																
9, 11. Токарно-гвинторізний ста-нок 1К62	2	11	22	0,3	0,8	0,88	6,6	5,82	242				16,5	6,4	17,7	33,46
13. Токарно-револьверний станок ТнФА2	1	3,5	3,5	0,5	0,8	0,75	1,75	1,31	12,25				4,37	1,44	4,61	8,32
Всього по групі А	3		25,5				8,35	7,13	12,25	1,31	0,33	2,5	20,9	7,85	22,3	
Група Б																
7. Горизонтально-фрезерний станок 6Р81	1	12,8	12,8	0,7	0,8	0,75	8,96	6,72	163,84				10,2	7,4	12,61	19,42
8. Вертикально-свердлильний 2А135	1	3,5	3,5	0,7	0,8	0,75	2,45	1,84	12,25				2,8	2,0	3,45	5,31
12. Заточний ста-нок ТНЗС-2-300	1	7,5	7,5	0,8	0,8	0,75	6	4,5	56,25				6,84	4,95	8,44	13,0

Всього по групі Б	3		23,8				17,4	13,1	232,34	2,44	0,73	1,14	19,85	14,36	24,5	
-------------------	---	--	------	--	--	--	------	------	--------	------	------	------	-------	-------	------	--

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Всього по РП2	6		49,3				25,8	20,2	244,6				40,72	22,21	46,8	71,19
РП3																
Група А																
14. Зарядний пристрій УЗА75А	1	1,8	1,8	0,2	0,9	0,48	0,36	0,17	3,24				0,9	0,192	0,92	1,52
21. Електровулканізатор	1	1	1	0,2	0,8	0,88	0,2	0,18	1				0,5	0,194	0,54	1,01
22. Настільний заточний станок ЗА-64	1	0,6	0,6	0,4	0,8	0,75	0,24	0,18	0,36				0,6	0,198	0,632	1,141
Всього по групі А	3		3,4				0,8	0,53	4,6	2,51	0,24	2,5	2	0,584	2,08	
Група Б																
10. Вентилятор витяжний	1	2	2	1	0,8	0,75	2	1,5	4				4,9	1,65	5,17	9,32
20. Дистилятор ДЕ-4-М	1	4,5	4,5	0,7	0,7	1,02	3,15	3,21	20,25				7,72	3,535	8,49	16,77
Всього по групі Б	2		6,5				5,15	4,71	24,25	1,74	0,79	2,45	12,62	5,185	13,64	
Всього по РП3	5		9,9				5,95	5,24	28,85				14,62	5,769	15,725	23,92
РП4																
Група А																
15. Мостовий кран	1	15,5	15,5	0,5	0,8	0,88	7,75	6,83	240,25				12,4	7,52	14,5	25,15
18. Гідропрес ОКС1671	1	2,2	2,2	0,5	0,7	1,02	1,1	1,12	4,84				1,76	1,23	2,15	3,825
Всього по групі А	2		17,7				8,85	7,96	245,1	1,28	0,5	1,6	14,16	8,753	16,65	
Група Б																

16. Стенд обкатування двигунів	1	22	22	0,6	0,8	0,88	13,2	11,6	484				15,05	12,8	19,76	30,52
--------------------------------	---	----	----	-----	-----	------	------	------	-----	--	--	--	-------	------	-------	-------

17. Компресор О-16А	1	5,5	5,5	0,9	0,8	0,75	4,95	3,71	30,25				5,64	4,1	6,97	10,73
19. Заточний станок	1	3,5	3,5	0,8	0,8	0,75	2,8	2,1	12,2 5				3,2	2,31	3,94	6,04
Всього по групі Б	3		31				21	17,5	526,5	1,83	0,68	1,14	23,9	19,2	30,64	
Всього по РП4	5		48,7				29,8	25,4	771,6				38,0	27,95	47,29	71,94
Всього по групі А	10		52,1				20,7	17,7	285, 5	3,53	0,4		41,32	19,44	45,66	69,46
Всього по групі Б	12		76,8				56,5	45,8	861,84	6,81	0,7 4		69,3	50,4	85,67	130,31
Всього по ЦТП	22		129				77,1	63,5	1147,3	9,98	0,6		110,62	69,8	130,8	199

### 2.3 Визначення кількості, потужності та місця розташування цехових ТП

Підстанція – основна ланка системи електропостачання (СЕП) промислового підприємства. Тому оптимальне розміщення підстанцій на території підприємства є найважливішим при побудові СЕП.

Підприємство буде заживлено від транзитної ЛЕП 10 кВ, що проходить на відстані 5 м від нього. Живлення відбувається від понижувальної підстанції 110/35/10 кВ, що знаходиться на відстані 1 км від об'єкту. ЛЕП безпосередньо живить ЦРП підприємства.

Потужність і число цехових ТП істотно впливають на техніко-економічні показники як заводської, так і цехових мереж.

Розрахунок потужности ЦТП наведено у таблиці 2.5. ААБ-3× 25 – 10 кВ.

Таблиця 2.5 – Розрахунок потужності ЦТП

№ п/п	Назва цеху	Розрахункове навантаження			Середнє навантаження		
		$P_{роз}$	$Q_{роз}$	$S_{роз}$	$P_c$	$Q_c$	$S_c$
		кВт	кВАр	кВА	кВт	кВАр	кВА
1	Адміністративна будівля	15,6	15,92	22,3	13,6	13,9	19,4
2	Підсобна будівля	10,0	10,2	14,26	9,5	9,7	13,5
3	Прохідна	0,748	0,758	1,07	0,649	0,658	0,93
4	Вапногасилка	1,628	1,427	2,17	1,327	1,168	1,768
5	РБУ	39,3	28,88	49,0	32,789	24,588	41,0
7	ПМП	1,879	1,93	2,676	1,578	1,6	2,26
8	Бокси	5,458	5,565	7,8	4,756	4,858	6,79
9	Зварювальна	12,7	9,548	15,9	10,237	7,678	12,78
11	Полігон з\б виробів	6,227	6,357	8,89	5,627	5,748	8,05
12	Компресорна	44,58	27,59	52,467	39,0	24,22	46,0
13	Арматурний цех	13,25	13,57	19,0	11,527	11,765	16,5
14	Котельня	5,0	5,137	7,2	4,138	4,217	5,901
15	Побутові приміщення	2,29	2,377	3,33	2,127	2,178	3,05
21	Мийка автомобілів	1,615	1,206	2,019	1,318	1,0	1,648
	Всього	160,27	130,4	208,1	138,2	113,2	179,5
	Розрахункова потужність			208,1			
	Середня потужність						179,5
	ТП1			250			
6	Кладови	3,9	2,948	4,92	2,927	2,18	3,67
10	Майстерні ВГМ	68,3	51,2	85,38	56,5	42,4	70,59
16	Оранжерея	6,82	5,17	8,54	5,82	4,367	7,285
17	Сушилка	0,937	0,948	1,3359	0,837	0,848	1,189
18	Столярна майстерня	17,66	15,6	23,568	14,7	13,0	19,6
19	Пилорама	29,0	29,58	41,5	23,566	24,1	33,7
20	Цементний склад	10,1	7,558	12,56	8,1	6,1	10,2
	Всього	136,2	113,0	177,8	112,4	93,0	146,2
	ТП2			160			

Компонування цехових трансформаторів (таблиця 2.2) дозволяє здійснити розподіл повної ( $S_p$ ), середньої ( $S_c$ ) потужностей споживання для окремих груп цехів.

На підприємстві доцільно встановити дві однострансформаторних підстанцій типу ТМН 250/10 і ТМН 160/10 із напругою низької сторони трансформаторів 0,4 кВ.

## 2.4 Розрахунок картограми та визначення координат розміщення ЦРП

					МП.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		36

Для вибору місць розташування підстанцій будується картограма і визначається центр електричних навантажень підприємства. Картограму навантажень будують на кресленні генерального плану підприємства. Навантаження кожного з цехів зображається кругом, площа якого пропорційна розрахунковій активності потужності:

$$P_{M.k} = \pi \cdot r_k^2 \cdot m_p, \quad (2.22)$$

де  $r_k$  - радіус круга;

$m_p$  - масштаб побудови.

При графічній побудові центр круга суміщають з геометричним центром зображеного на генплані контуру цеха. Масштаб вибирають таким, щоб побудована картограма наглядно відображала співвідношення потужностей цехів.

Вибираємо масштаб побудови картограми навантажень. Прийнемо радіус круга навантажень цеху № 13,  $r_1 \approx 40$  м. Тоді:

$$m_p = \frac{P_{M.13}}{\pi \cdot r_{13}^2} = \frac{15,38}{3,14 \cdot 20^2} = 0,012 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$$

Вибираємо  $m_p = 0,01$  кВт/м<sup>2</sup>

Визначаємо радіуси кругів при даному масштабі:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{M.13}}{\pi \cdot m_p}} = \sqrt{\frac{15,38}{3,14 \cdot 0,01}} = 22,1 \text{ м}$$

Аналогічно розраховані радіуси для інших об'єктів (таблиця 2.6).

Розмір сектора освітлювального навантаження на картограмі навантажень розраховується із співвідношення:

$$A = \frac{360 \cdot P_{M.o}}{P_{M.\Sigma}} = \frac{360 \cdot 0,98}{15,38} = 22,94^\circ \quad (2.23)$$

Аналогічно розраховується і для других цехів. Результати заносяться в таблицю 2.6. Картограма навантажень підприємства зображена на рисунку 2.4.

Таблиця 2.6 – Координати і радіуси цехів БМП

№ п/	Цех	Координати цехів	$P_m$	$P_{m0}$	$r_k$	A
------	-----	------------------	-------	----------	-------	---





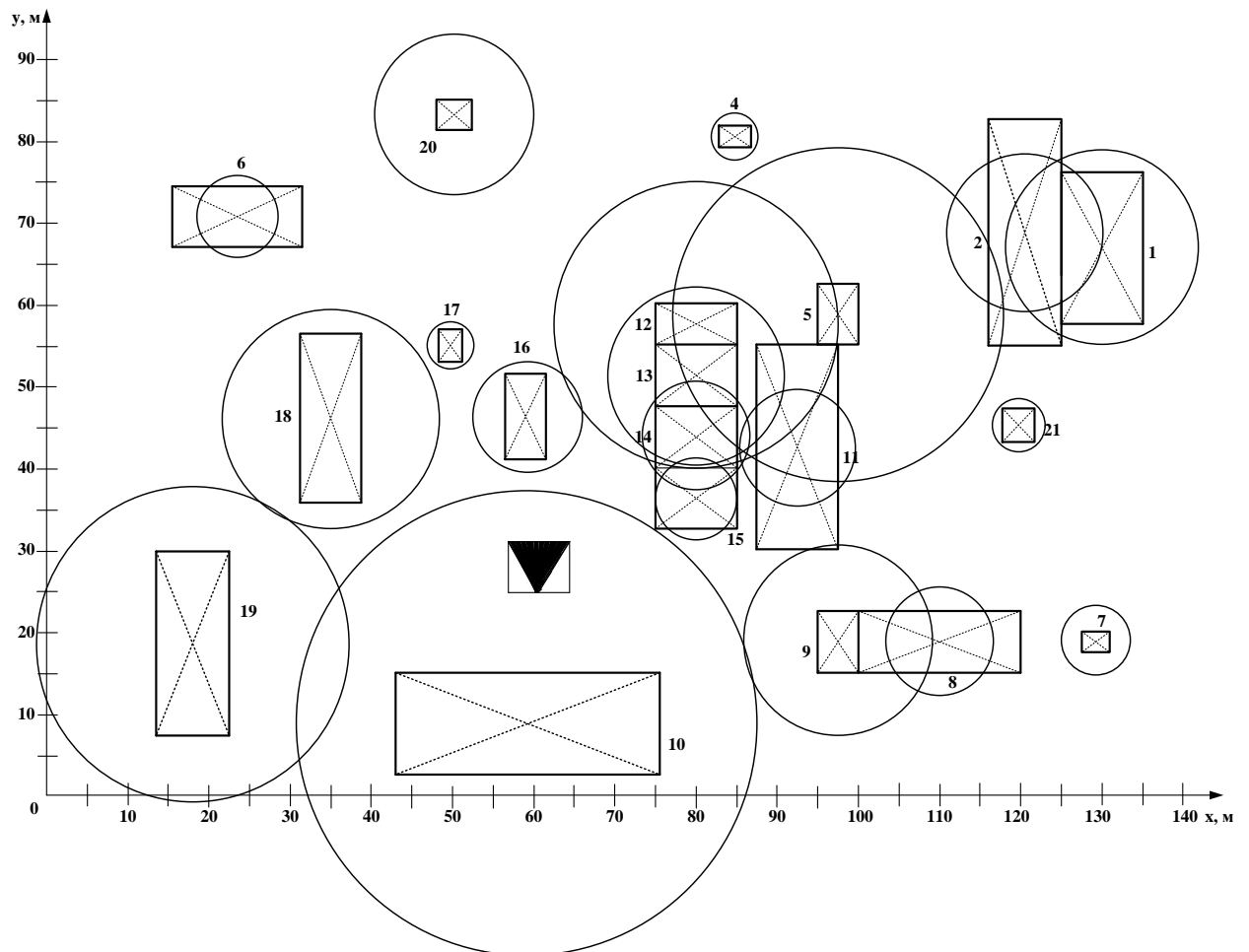


Рисунок 2.4 – Картограма навантажень підприємства

В дипломній роботі необхідно вибрати оптимальне місце розміщення ЦРП по критерію мінімуму затрат в систему електропостачання виходячи з припущення, що ЦРП може бути встановлений на довільному місці території підприємства, не зайнятому цехами. Визначення оптимального розташування ЦРП дозволяє правильно розмістити ЦРП на плані підприємства, що дозволить зменшити витрату кабелів, а значить і зменшити затрати на СЕП.

Сформуємо математичну модель задачі згідно етапів вибору оптимальних проектних рішень. Керованими змінними задачі є координати розміщення ЦРП -  $(x_0, y_0)$ . Очевидно область допустимо-доступних рішень є множина координат, які належать території заводу. Тому обмеження на керовані змінні будуть мати вигляд:

$$x_{\min} \leq x_0 \leq x_{\max} ; y_{\min} \leq y_0 \leq y_{\max},$$

де  $x_{\min}$ ,  $x_{\max}$  - мінімальна та максимальна координата території заводу по осі X;





$B_0$  –питома вартість втрат

$E_E$  – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$E_a$  – коефіцієнт ефективності на амортизацію;

Вхідні дані:

Напруга 10 кВ;

$a = 30000$  в.о/км;

$B_0 = 343$  в.о/кВт;

$E_E = 0,1$ ;

$E_a = 4$  %;

$x_{\max} = 100$ ;

$x_{\min} = 0$ ;

$y_{\max} = 135$ ;

$y_{\min} = 0$ .

Таблиця 2.7 – Вибір оптимального місця розташування ЦРП

ТП	x, м	y, м	P, кВт	Q, кВАр	I, А	R <sub>0</sub> , Ом/км	K <sub>0</sub> , в.о/км	L, км	V <sub>л</sub> (В <sub>ж</sub> ) в.о	V <sub>лп</sub> (В <sub>жп</sub> ) в.о	З, в.о
ТП1	33,75	78,25	164	145	12,6	1,24	19960	94,5	661	19,2	680
ТП2	77,75	27,75	141,2	125,8	10,9	1,24	19960	0,003	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$39 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Точка подводу живлення	100	20	246	222	19,1	0,79	37407	30	283	8,9	292
									Приведені річні затрати		972

В результаті розрахунку, здійсненого у табличному вигляді, визначили координати центру мережі  $x_0 = 77,75$ ;  $y_0 = 27,75$ , які співпали з координатами трансформаторної підстанції № 2, тобто ЦРП буде встановлено безпосередньо біля ТП2. При такому розміщенні ЦРП витрати на спорудження заводської мережі будуть

мінімальними (972,2349 в.о.), ЦРП позначається на генплані підприємства (рисунок 2.5).

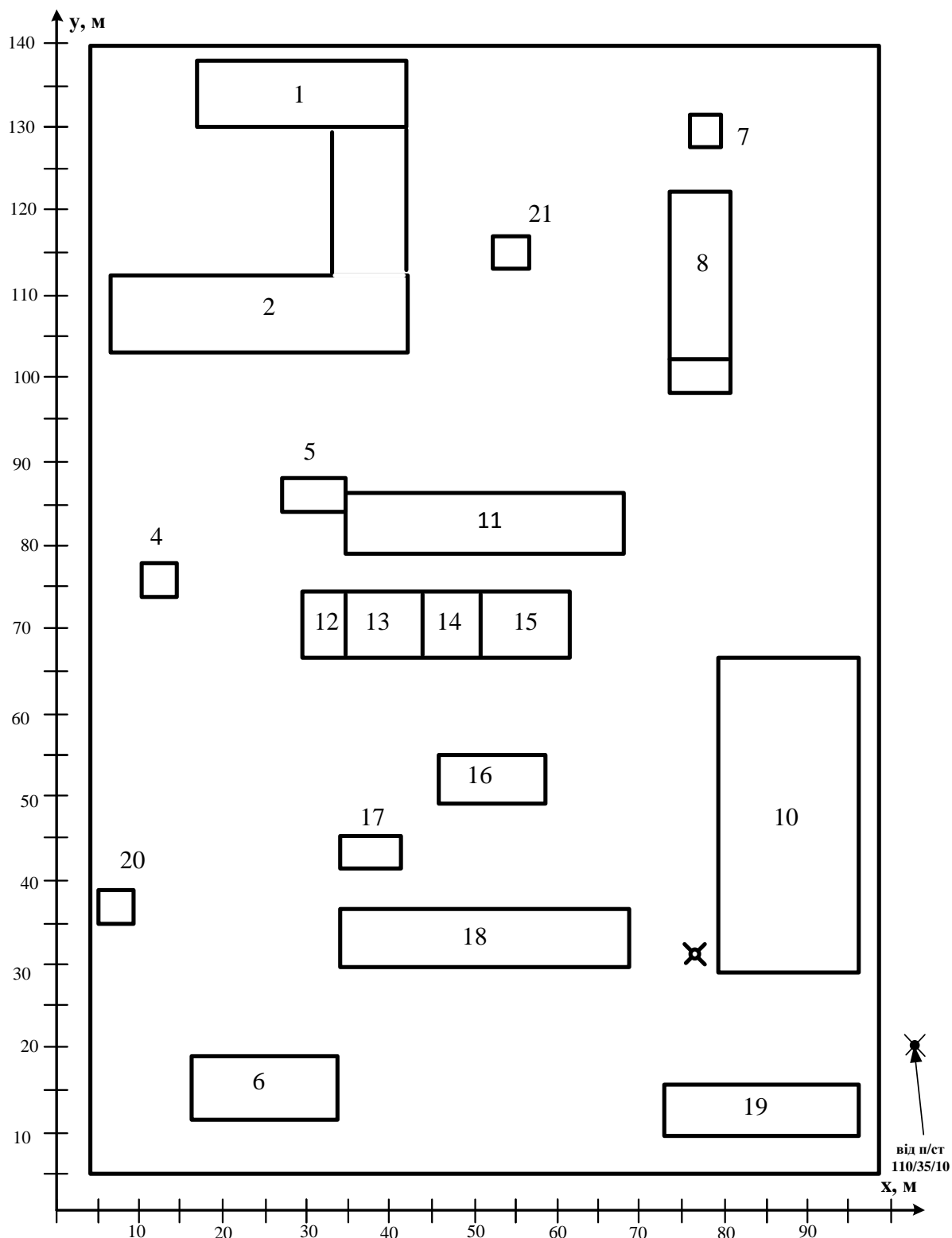


Рисунок 2.5 – Визначення центру навантаження

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

MP.5.8.141.187.ПЗ

Арк

43

## 2.5 Розрахунок розподільчої мережі підприємства

Керованою змінною  $x$  в даній задачі є переріз КЛ. Множиною доступних рішень є множина всіх стандартних перерізів КЛ – 10 кВ  $X_{ст}$ .

На керовану змінну повинні бути накладені такі обмеження:

$$X \geq 0; X \geq X_{доп},$$

де  $X_{доп}$  – мінімальний переріз, який задовольняє умові:

$$I_{доп}(x) \geq I_{кл},$$

де  $I_{доп}(x)$  – допустимий струм для перерізу  $X$ ,

$I_{кл}$  – струм в кабельній лінії;

$$X \geq X_{кз} = \frac{I_{кз} \cdot \sqrt{t_n}}{C},$$

де  $X_{кз}$  – мінімальний переріз, який витримує термічну дію струмів **К.З.**;

$$X \geq X_{мін.ΔU} \equiv \Delta U_n(x) \leq \Delta U_{н.доп};$$

де  $X_{мін.ΔU}$  – мінімальний переріз, який забезпечує допустимі втрати напруги в КЛ.

Очевидно множина допустимо-доступних рішень  $X$  буде складатись із таких стандартних перерізів, які не менше  $\max(0, X_{доп}, X_{кз}, X_{мін.ΔU})$ , тобто:

$$X = \{X \in X_{ст} \mid x > \max(0, X_{доп}, X_{кз}, X_{ΔU})\}$$

$$k_{л} > 1 \Rightarrow X \geq X_{ПА.ΔU} \equiv \Delta U_{ПА}(x) \leq \Delta U_{ПА.доп}$$

$$k_{л} > 1 \Rightarrow X \geq X_{ПА.доп} \equiv k_n \cdot I_{доп}(x) \geq \frac{k_{л} \cdot I_{л} \cdot k_{н.ПА}}{k_{л} - 1}$$

Виберемо затрати в КЛ показником ефективності рішення та виразимо їх в залежності від керованої змінної (перерізу):

$$Z_{кл}(x) = ((E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3I^2 \cdot r_0(x) \cdot L \cdot B_0) \cdot L \cdot K_{л} \rightarrow \min,$$

де  $E_e$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$K_0(x)$  – вартість одного кілометра КЛ перерізом  $X$ ;

$L$  – довжина КЛ;

$E_a$  – доля відрахувань на амортизацію;

$B_v(x)$  – вартість втрат активної потужності та енергії в КЛ перерізом  $X$ ;

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		44



$k = 1$  – кількість кабелів в лінії;

$k_n = 1,4$  – коефіцієнт перевантаження у після аварійному режимі;

$k_{н.па} = 0,8$  – Коефіцієнт недовантаження у після аварійному режимі;

$I_{розр} = 12,63$  А – розрахунковий струм в лінії;

$F_{кз} = 22,06$  мм<sup>2</sup> – мінімальний переріз кабеля за умов КЗ.

Для внутрішньозаводської мережі вибираємо броньовані кабелі з паперовою ізоляцією в алюмінієвій оболонці типу ААБ. На основі виконаного в табличній формі розрахунку доцільно вибирати такі кабелі: від ЦРП до всіх ТП: ААБ-3× 25 – 10 кВ.

					МП.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		46

### 3 Вибір комутаційного та захисного обладнання

#### 3.1 Вибір комутаційної апаратури

Виконаємо вибір комутаційної апаратури на прикладі РП1, а також вибір кабелів для РП1-ЦРП. Для РП1 вибираємо селективний вимикач ВА55-37 з номінальними струмами  $I_{ном.в} = 160 \text{ А}$ .

Номінальний струм розчіплювача і струм спрацювання відсічки автоматичного вимикача вибирається з умови :

$$I_{н.розч} \geq k_{відс} \cdot I_M = 1,1 \cdot 33,83 = 37,21 \text{ А};$$

$$I_{с.в} \geq k_n \cdot I_n = 1,5 \cdot 79,38 = 119,07 \text{ А},$$

де  $I_{с.в}$  - струм спрацювання відсічки;

$k_{над}$  - коефіцієнт надійності відстройки струмової відсічки.

Отже необхідно вибрати і номінальним струмом розчіплювача:

$$I_{н.розч} = 0,8 \cdot I_{ном.в} = 0,63 \cdot 160 = 100,8 \text{ А}.$$

Струм спрацювання відсічки:

$$I_{с.в} = 3 \cdot I_{ном.р} = 3 \cdot 100,8 = 302,4 \text{ А}.$$

Вибираємо найменший час спрацювання відсічки  $t_{с.в} = 0,1 \text{ с}$ .

Для ВА55-37 струм спрацювання теплового розчіплювача 20 А.

Переріз жил кабелю АВВГ вибираємо з умови:

$$I_{доп} = 100,8 \text{ А} \geq I_M = 33,8 \text{ А}$$

З **ПУЕ** вибираємо кабель типу АВВГ 3×120 + 1×50 (прокладення відкрито), для якого:

$$I_{доп} = 0,92 \cdot 100,8 = 93 \text{ А}$$

Результати розрахунків приведені в **таблиці 3.1**.

Перевіримо вибрані перерізи за допустимими втратами напруги. Втрати напруги в лінії ЦРП-РП1:

					МР.5.8.141.187.ПЗ			
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Вакуленко				Вибір комутаційного та захисного обладнання	Літ	Аркуш	Аркушів
Керівник.	Лебединский					В	47	117
Н. контр.	Єфімов Г.П				СумДУ ЕТмдн-01п			
Затверд.	Лебединский							

$$\Delta U_1 = I \cdot \frac{P_M \cdot R_{\text{ПІТ}} + Q_M \cdot X_{\text{ПІТ}}}{U_{\text{НОМ}}} = 32 \cdot \frac{17,24 \cdot 3,84 + 13,87 \cdot 0,088}{380} = 5,678 \text{ A}$$

Втрати напруги в лінії ЦРП-РП2:

$$\Delta U_2 = I \cdot \frac{P_M \cdot R_{\text{ПІТ}} + Q_M \cdot X_{\text{ПІТ}}}{U_{\text{НОМ}}} = 23 \cdot \frac{40,72 \cdot 1,54 + 22,21 \cdot 0,072}{380} = 3,892 \text{ A}$$

Таким чином загальні втрати напруги складають:

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 5,678 + 3,892 = 9,57 \text{ B}$$

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100 \% = \frac{6,57}{380} \cdot 100 \% = 2,52 \%$$

що менше від допустимого значення 5 % .

В нормальному режимі переріз і довжина провідників повинні забезпечувати відхилення напруги на затискачах ЕП, що не перевищує 5-7,5 %.

Таке значення напруги є припустимим. Отже ми вибрали комутаційно-захисну апаратуру та переріз жил проводів та кабелів для всіх споживачів електричної енергії цеху, дані наведені в таблиці 3.1, перевірили автоматичні вимикачі на ряд вимог та впевнилися, що вони задовольняють дані вимоги.

Таблиця 3.1 – Вибір комутаційно-захисної апаратури

Лінія	Ім,А	Іп, А	Тип захисного апарату	Іном.в, А	Ін.розч, А	Іс.в, А	Ін.відк, А	Тип провідника	Спосіб пр-ня	S, мм <sup>2</sup>	Ідоп, А	І, м	Rлит	Xлит	ΔU
ЦРП-РП1	33,9	79,38	ВА 55-37	160	100,8	302,4	20	АВВГ	ВІДКРИТО	3x10+1x6	45	32	3,84	0,088	5,678
ЦРП-РП2	71,2	154,62	ВА 55-37	160	100,8	302,4	20	АВВГ		3x25+1x16	75	23	1,54	0,072	3,892



РП2-ЕП9	РП2-ЕП8	РП2-ЕП7	РП1-ЕП6	РП1-ЕП5	РП1-ЕП4	РП1-ЕП3	РП1-ЕП2	РП1-ЕП1	ЦРП-РП4	ЦРП-РП3
33,5	5,3	19,4	7,3	0,91	2,4	10,6	8,6	3,8	71,9	23,9
167,5	26,5	97	36,5	4,55	12	53	43	19	206,1	95,71
ВА 51-31	ВА 51-25	ВА 51-25	ВА 51-25	ВА 51-25	ВА 51-25	ВА 51-25	ВА 51-25	ВА 51-25	ВА 55-37	ВА 55-37
100	25	25	25	25	25	25	25	25	250	160
40	8	25	10	8	8	16	12,5	8	157,5	100,8
400	80	250	100	56	56	160	125	56	472,5	302,4
6	6	6	6	6	6	6	6	6	20	20
АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АВВГ	АВВГ
В ТРУБАХ										
3x10+1x6	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x25+1x16	3x10+1x6
39	19	19	19	19	19	19	19	19	75	45
4	4	9	1	5,5	6	7	16	17	15	16
3,84	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	1,54	3,84
0,088	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,072	0,088
0,673	0,284	2,341	0,098	0,063	0,184	0,939	1,836	0,867	2,392	2,385

РП4-ЕП17	РП4-ЕП16	РП4-ЕП15	РП3-ЕП22	РП3-ЕП21	РП3-ЕП20	РП3-ЕП14	РП3-ЕП10	РП2-ЕП13	РП2-ЕП12	РП2-ЕП11
10,7	30,5	25,2	1,14	1,01	16,7	1,5	9,3	8,3	13	33,5
53,5	152,5	126	5,7	5,05	83,5	7,5	46,5	41,5	65	167,5
BA 51-25	BA 51-31	BA 51-31	BA 51-25	BA 51-25	BA 51-25	BA 51-25	BA 51-25	BA 51-25	BA 51-25	BA 51-31
25	100	100	25	25	25	25	25	25	25	100
12,5	40	31,5	8	8	20	8	12,5	12,5	16	40
87,5	400	315	56	56	200	56	125	125	160	400
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ	АПВ
3x2,5+1x2,5	3x10+1x6	3x6+1x4	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5	3x10+1x6
19	39	30	19	19	19	19	19	19	19	39
22	13	5	1,5	1	7	5	8	2	6	5
9,61	3,84	6,41	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	9,61	3,84
0,098	0,088	0,094	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,088
3,161	2,016	1,055	0,023	0,013	1,376	0,114	0,995	0,222	1,046	0,841

РП4-ЕП19	РП4-ЕП18
6,1	3,8
30,5	19
ВА 51-25	ВА 51-25
25	25
8	8
80	56
6	6
АПВ	АПВ
3x2,5+1x2,5	3x2,5+1x2,5
19	19
9	12
9,61	9,61
0,098	0,098
0,731	0,538

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

МР.5.8.141.187.ПЗ

Арк

51









#### 4 Релейний захист заводської мережі 10 кВ та трансформаторів

В СЕП можуть виникати режими, що значно перевищують навантаження нормального режиму роботи, а тому являють небезпеку для елементів СЕП.

Основним видом аварій в СЕП є короткі замикання, а тому апарати захисту повинні володіти відповідною властивістю вимикання. В залежності від апаратури, що використовується, захист може реагувати на зміни певних електричних або неелектричних величин. При цьому розрізняють захисти, що реагують на збільшення, зменшення, напрямок величин або різницю величин. Для кожного елемента СЕП передбачається основний захист, що повинен надійно прореагувати на всі порушення режиму або пошкодження даного елемента і може складатись з декількох видів захисту, а також резервний захист. Захист характеризується показниками: вибором дії, часом спрацювання; зоною дії чутливості, зоною не чутливості, надійності, способом фіксації не спрацювання. В електроустановках на промислових підприємствах релейний захист виконується, як правило, на змінному струмі. При виборі захисту необхідно керуватись рекомендаціями, наведеними в ПУЕ. Питання релейного захисту розглянемо на прикладі ТП 1.

Захист внутрішньозаводських мереж базується на використанні простих мало релейних схем з мінімальною кількістю контактів реле, послідовно приймаючи участь в роботі схеми. Захист на радіальних лініях з однобоким живленням встановлюється тільки з живлячого боку та виконується у вигляді максимального струмового захисту, одноступінчатої, в двофазному, дворелейному виконанні. Апаратура захисту розміщується в релейних відсіках шаф КРП. Захист підключається до трансформаторів струму, що встановлені в шафі того ж КРП.

					МР.5.8.141.187.ПЗ			
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Вакуленко				Релейний захист заводської мережі 10 кВ та трансформаторів	Літ	Аркуш	Аркушів
Керівник.	Лебединский					В	57	117
Н. контр.	Єфімов Г.П					СумДУ ЕТмдн-01п		
Затверд.	Лебединский							



Визначаємо струм спрацювання пускового реле струму максимального струмового захисту по формулі:

$$I_{CЗ} = \frac{K_{НАД} \cdot K_{ЗАП}}{K_{ПОВ}} \cdot I_{МАКС.НАВ}, \quad (4.1)$$

де  $K_{НАД} = 1,1$  – коефіцієнт надійності настроювання;

$K_{ЗАП} = 2$  – коефіцієнт запасу (по самозапуску двигуна);

$K_{ПОВ} = 0,85$  – коефіцієнт повернення;

$I_{МАКС.НАВ} = 33,9$  – максимальне значення струму навантаження лінії, А.

$$I_{CЗ} = \frac{1,1 \cdot 2}{0,85} \cdot 33,9 = 87,74 \text{ А}$$

Вторинний струм спрацювання реле, тобто вставка пускових реле, визначається по формулі:

$$I_{CP} = \frac{K_{НАД} \cdot K_{ЗАП} \cdot K_{СХ} \cdot I_{МАКС}}{K_{ПОВ} \cdot K_{ТС}} \quad (4.2)$$

де  $K_{ТС} = 10$  – коефіцієнт трансформаторів струму;

$K_{СХ} = 1$  – коефіцієнт схеми;

$I_{МАКС} = 33,9$  А.

$$I_{CP} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 33,9}{0,85 \cdot 10} = 8,77 \text{ А}$$

Мінімальний струм КЗ складає:

$$I_{К.МИН} = I_{К} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,96 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,830 \text{ кА}$$

Перевіримо чутливість захисту по умові:

$$K_{ЧУТ} = \frac{I_{К.МИН}}{I_{CЗ}} = \frac{830}{87} = 9,46 \geq 1,5$$

Захист повинен надійно працювати при короткому замиканні на ділянці, що захищається та мати коефіцієнт чутливості не менше 1,5, що і виконується.



- 3) обмоткових замиканнях в обмотках трансформаторів;
- 4) зовнішніх коротких замиканнях;
- 5) пониженням рівня масла;
- 6) пошкодженням в середині баків.

Для захисту трансформатора від багатозазових коротких замикань в його обмотках і на виводах використовується струмова відсічка та захист зі ступінчатою характеристикою витримки часу.

Захист встановлюється з боку джерела живлення безпосередньо біля вимикача та діє на вимикання останнього.

Для захисту від внутрішніх пошкоджень трансформаторів, що супроводжується виділенням газу та пониженням рівня масла передбачається газовий захист з дією на сигнал при слабких газоутвореннях та з дією на вимикання при інтенсивному газоутворенні.

Для захисту від замикань на землю передбачається захист від замикань на землю з боку низької напруги, що діє на вимикання. Для захисту від струмів короткого замикання передбачається максимальний струмів захист, що діє на вимикання вимикача.

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		60

## 5 Аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання

Електрична мережа та система електропостачання підприємства є електромагнітним середовищем, в якому відбувається генерування, розповсюдження та вплив електромагнітних перешкод на електроприймачі. Тому виникає завдання їхньої електромагнітної сумісності, під якою розуміється здатність електрообладнання, апаратів і приладів нормально функціонувати в електромагнітному середовищі, не створюючи неприпустимих перешкод для іншого обладнання, що функціонує в тому ж середовищі.

Переважаючі кондуктивні електромагнітні перешкоди в мережах трифазного змінного струму визначаються спотвореннями синусоїдальної форми кривих напруги і струму, діючого значення напруги (відхилення, коливання і несиметрія напруги), провалами і імпульсами напруги. Значення перешкод прийнято називати показниками електромагнітної сумісності або показниками якості електроенергії.

Енергосистема, призначена для виробництва, передачі, розподілу електроенергії та перетворення її на енергію інших видів, містить більшу кількість джерел електромагнітних перешкод: лінії електропередачі, розподільні пристрої (підстанції) з комутаційними апаратами, шинопроводи, кабелі, електроприймачі, технічні засоби автоматизації, управління, захисту та зв'язку.

Усталені електромагнітні процеси, що характеризуються перешкодами з частотою від декількох герц до 100 ГГц, створюються всіма енергетичними установками, повітряними та кабельними лініями електропередачі всіх номінальних напруг, пристроями електропостачання змінної та багатофазної напруги, випрямними приладами та пристроями, колекторними лампами, комутаційними мережевими пристроями, комп'ютерними системами, діатермічними пристроями, установками індукційного нагріву, зварювання, пристроями радіозв'язку, радіопе-

					МР.5.8.141.187.ПЗ			
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Вакуленко				Аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання	Літ	Аркуш	Аркушів
Керівник.	Лебединский					В	61	117
Н. контр.	Ефімов Г.П				СумДУ ЕТмдн-01п			
Затверд.	Лебединский							



при коливаннях напруги – 
$$\frac{\Delta P_{\delta U_1}}{\Delta P_{НОМ}} = k^k \cdot D,$$

де  $k^k$  – коефіцієнт, що залежить від виду ЕО та його сприйнятливості до коливань напруги;

$D$  – дисперсія процесу.

### Відхилення напруги

Головною причиною виникнення відхилень (змін) напруги в СЕС є зміна навантажень, що викликається насамперед:

- режимом роботи споживачів електроенергії;
- поправкою споживачів, що підключаються;
- оперативними перемиканнями;
- порушеннями роботи мережі.

Значення відхилення напруги  $\delta U_t$  у цьому пункті мережі є функцією багатьох змінних:

$$\delta U_t = f(U_s^1, P, Q, Z, Y, \sum \delta \cdot U^d),$$

де  $P$  і  $Q$  – споживана активна і реактивна потужність у мережі;

$U_s^1$  – напруга мережі живлення (наприклад, на шинах підстанції);

$Z$  і  $Y$  – опір і провідність елементів мережі живлення;

$\sum \delta U^d$  – сума «добавок», тобто додаткових значень напруги (наприклад, у трансформаторі або трансформаторах мережі живлення).

### Несиметрія напруг

**Несиметрія напруг** в СЕС обумовлена наявністю потужних однофазних навантажень (індукційних плавильних та нагрівальних печей, зварювальних агрегатів, печей електрошлакового переплаву), а також трифазних, що тривало працюють у несиметричному режимі (наприклад, дугових сталеплавильних печей). Трифазна система напруги може бути несиметричною при живленні мережі підприємства від тягової підстанції змінного струму.

					МР.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		63

При несиметрії напруг у трифазних мережах з'являються додаткові втрати в елементах електромереж, скорочується термін служби ламп та електрообладнання та знижуються економічні показники їх роботи.

В електричних машинах змінного струму виникають магнітні поля, що обертаються із синхронною швидкістю у напрямку обертання ротора та з подвійною синхронною швидкістю у протилежному напрямку. В результаті виникає гальмівний електромагнітний момент, а також додаткове нагрівання активних частин машини, головним чином ротора, за рахунок струмів подвійної частоти.

**В асинхронних двигунах (АД)** при коефіцієнтах зворотної послідовності напруг, що зустрічаються на практиці,  $K_{2U} \leq 0,05 \div 0,06$  зниження крутного моменту АД виявляється дуже малим..

Вплив несиметрії на втрати в електродвигуні і, отже, на нагрівання та скорочення терміну служби його ізоляції проявляються більшою мірою.

При несиметрії напруги мережі в **синхронних двигунах (СД)** поряд з появою додаткових втрат і нагріванням статора і ротора можуть виникнути і небезпечні вібрації в результаті появи знакозмінних крутних моментів і тангенціальних сил, пульсуючих з подвійною частотою мережі.

При значній несиметрії вібрація може бути небезпечною, особливо при недостатній міцності або дефектах в зварних з'єднаннях. При несиметрії струмів, що не перевищує 30%, небезпечні перенапруги в елементах конструкцій, як правило, не виникають.

Додаткові втрати потужності в СД при несиметричному навантаженні викликають появу місцевих (локальних) нагрівань обмотки збудження, що призводить до необхідності зниження струму збудження і тим самим зменшувати значення реактивної потужності (РП), що видається в мережу. При цьому іноді слід знижувати активне навантаження генератора або момент на валу СД.

**Коливання напруги** негативно позначаються на зоровому сприйнятті предметів, деталей, графічних зображень і, зрештою, на продуктивності праці та зору працівників.

Фізіологічну основу сприйняття зорового образу становить, як відомо, робота зорового аналізатора, однією з основних частин якого є рецептор. Його основна функція полягає у перетворенні енергії діючого подразника на нервовий процес. Подразником зорового аналізатора є світлова енергія. А оскільки процеси, що відбуваються в зоровому аналізаторі, як і всі процеси в природі біологічної системи, наприклад процес зорового сприйняття, мають енергетичний сенс, то зоровий аналізатор має певні енергетичні характеристики.

При наявності **вищих гармонік (ВГ)** у СЕС з'являються додаткові втрати в електричних машинах, трансформаторах та мережах, утруднюється компенсація реактивної потужності (КРП) за допомогою БК, скорочується термін служби ізоляції електричних машин та апаратів, погіршується робота пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку, мають місце інші негативні наслідки [7].

При роботі **асинхронного двигуна** в умовах несинусоїдальної напруги його коефіцієнт потужності і крутний момент на валу дещо знижуються. Фактично вплив ВГ на коефіцієнт потужності АД можна не враховувати. Те саме можна сказати і про моменти, що розвиваються ВГ струму: їх величина не перевищує кілька десятих відсотка від моменту, що розвивається при промисловій частоті.

Батареї конденсаторів можуть тривалий час працювати при перевантаженні їх струмами ВГ не більше ніж на 30%; допустиме підвищення напруги становить 10%. Проте за цих умов термін їхньої служби скорочується. У СЕС промислових підприємств, як правило, робота БК може опинитися в режимі, близькому до резонансу струмів на частоті будь-якої гармоніки; внаслідок перевантажень вони виходять з ладу.

**Облік електроенергії** при несинусоїдальних режимах пов'язаний зі значними похибками, величина яких залежить від вимірювальної системи лічиль-





- проблеми у роботі флюоресцентних ламп та електронного обладнання;
- створення перешкод сигналам захисту та управління у проводах електричної мережі;
- перевантаження пасивних фільтрів ВГ;
- перешкоди у телекомунікаціях;
- акустичний вплив;
- насичення вимірювальних трансформаторів.

## 5.2 Електромагнітна складова збитків з урахуванням наведених витрат

При розрахунку складової збитків, спричиненої старінням ізоляції, відносно зменшення її терміну служби  $\Delta t_x$  представляється відповідним відносним збільшенням відрахувань  $I_{рен}$  на реновацію електроустаткування  $\Delta t_x = I_{рен}$  [1. Аррилага Д., Бредли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.]:

$$I_{p\Sigma x} = I_{рен} (1 + I_{рен}) = I_{рен} + \Delta I_{рен}$$

З останнього рівняння випливає, що складова збитків, зумовлена тепловим старінням ізоляції:

$$\Delta Z_{ЗБ} = K \cdot I_{рен} \cdot \Delta I_{рен}$$

де  $I_{рен}$  – нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію від капітальних витрат  $K$ .

Для практичного використання зручно скористатися значенням збитків залежно від суми щорічних приведених витрат, тобто відношенням  $\Delta Z_{ЗБ} / Z$ . Для отримання відповідних виразів скористаємося виразом для  $\Delta Z_{ЗБ}$  у відносних одиницях, прийнявши суму капзатрат  $K = 1$ .

Оскільки:

$$I_{рен} = \frac{1}{T_{НОМ}}$$

де  $T_{ном}$  – номінальний термін служби ізоляції,

Можна записати:

$$I_{PEH} \cdot \Delta I_{PEH} = \frac{\Delta t_X}{T_{НОМ}}$$

І відповідно

$$З = E_H + I_{PEH} = \frac{1 + E_H \cdot T_{НОМ}}{T_{НОМ}},$$

де  $E_H$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ( $E_H = 0,12$ ).

Коефіцієнт збитків  $\xi_{ЗБ}$  можна записати відношенням:

$$\frac{\Delta З}{З} = \frac{\Delta t_X}{T_{НОМ}} \cdot \frac{T_{НОМ}}{1 + E_H \cdot T_{НОМ}} = \frac{\Delta t_X}{1 + E_H \cdot T_{НОМ}}. \quad (5.1)$$

Тоді значення збитків:

$$З_{ЗБ} = З \cdot \xi_{ЗБ}.$$

Наприклад, при  $E_H = 0,15$  і  $T_{НОМ} = 20$  років, коефіцієнт збитку:

$$\xi_{ЗБ} = \frac{\Delta t_X}{3,4}. \quad (5.2)$$

### 5.3 Відносне (щодо синусоїдального режиму) скорочення терміну служби ізоляції

Цей показник визначається наступним чином:

$$\Delta t_X = b \cdot \Delta \tau + \frac{(b \cdot \Delta \tau)^2}{2},$$

де  $b = 0,086$  – для ізоляції класів А і Е;

$b = 0,069$  – відповідно для класів В і F;

$\Delta \tau$  – температура перегріву ізоляції, що розраховується так:

$$\Delta \tau = \tau_{дод} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta P_{НОМ}},$$

де  $\Delta P$  – додаткові втрати потужності, зумовлені несиметрією та вищими гармоніками;

$\Delta P_{НОМ}$  – номінальні втрати потужності в електрообладнанні.

## 5.4 Особливості розрахунку додаткових втрат та зниження терміну служби електрообладнання при зниженій якості енергії

Для оцінки додаткових втрат в електричних двигунах та трансформаторах на частотах ВГ скористаємося виразами:

$$\sum_{n=2}^m \frac{U_{n.x}}{n\sqrt{n}} = \sum_{n=2}^n A_n \cdot U_{n.x}^2, \quad (5.3)$$

або

$$\Delta P_n = \Delta P_{НОМ} \cdot \sum_{n=2}^n A_n \cdot U_{n.x}^2, \quad (5.4)$$

де  $A_n = \frac{1}{n \cdot \sqrt{n}}$  – коефіцієнт гармонійних втрат

$\rho$  – індекс втрат, який для:

**Асинхронного двигуна:**

$$\rho_{АД}^{(ВГ)} = K_{П}^2,$$

де  $K_{П}$  – кратність пускового струму;

**Синхронного двигателя:**

$$\rho_{СД}^{(ВГ)} = K_{СД}$$

де  $K_{СД} = 1,21$  (за наявності заспокійливої обмотки та 0,403 за її відсутності);

**Трансформатора:**

$$\rho_{ТР}^{(ВГ)} = \frac{0,6}{u_K^2},$$

де  $u_K$  – напруга короткого замикання;

**при несимметрії напруги в сети електромагнітні втрати**

$$\Delta P_{НС} = \Delta P_{НОМ} \cdot \rho_{НС} \cdot K_{2,u}^2, \quad (5.5)$$

де  $K_{2,u}$  – коефіцієнт несиметрії, відн. од.

Тоді для:

**Асинхронного двигуна:**

$$\rho_{АД}^{(НС)} = 2,41 \cdot K_{П},$$

**Синхронного двигуна:**

$$\rho_{CD}^{(HC)} = K_{CM},$$

де  $K_{CM}=1,856$

**Трансформатора:**

$$\rho_{TP}^{(HC)} = \frac{1}{u_K^2},$$

Сумарні втрати активної потужності в **повітряних та кабельних лініях** електропередачі при протіканні несиметричних та несинусоїдальних струмів:

$$\Delta P_{ЛЕП} = R \cdot \left( 3 \cdot I_1^2 + 3 \cdot I_2^2 + 1,41 \cdot \sum_{n=2}^{40} \sqrt{n} \cdot I_n^2 \right), \quad (5.6)$$

де  $I_1$  і  $I_2$  – діючі значення струмів прямої та зворотної послідовностей;

$R$  – активний опір фази ЛЕП ( $R = R_A = R_B = R_C$ ).

Щоб визначити значення додаткових втрат потужності з результату, отриманого за формулою (5.6), необхідно відняти втрати активної потужності в ЛЕП при протіканні симетричних синусоїдальних струмів.

### **5.5 Особливості розрахунку відносного скорочення терміну служби ізоляції при зниженні якості електроенергії**

Додаткові втрати потужності за рахунок електромагнітних перешкод призводять до додаткового нагрівання електрообладнання  $\Delta t$ , скорочення терміну служби ізоляції (і загалом електрообладнання) на величину:

$$\Delta T_{СЛ} = T_C - T_C^{HE},$$

$$\Delta T_{СЛ} = T_C - T^{(HE)}_C,$$

де  $T_C$  і  $T^{(HE)}_C$  – термін служби елементів СЕС за наявності та відсутності ЕМП. Тривалість життя ізоляції оцінюється за формулою Монтзінгера:

$$T_C = A \cdot e^{-0,086 \cdot \tau},$$

						MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			70

де  $A$  – коефіцієнт, що залежить від виду ізоляції;

**0,086** – параметр Монтзінгера, заснований на припущенні, що перегрів на **8° С** призводить до скорочення терміну служби ізоляції вдвічі (так зване восьмиградусне правило);

$\tau$  – температура нагріву ізоляції.

Відносне скорочення терміну служби ізоляції електрообладнання:

$$\Delta T = \frac{T_c - T_c^{(H.Э)}}{T_c} = 1 - e^{-0,086 \cdot \Delta \tau} \approx 0,086 \cdot \Delta \tau + \left(\frac{0,086 \cdot \Delta \tau}{2}\right)^2, \quad (5.7)$$

Описаний вище підхід є орієнтовним; так як зв'язок між  $\Delta \tau$  і додатковими втратами у припущенні, що електричні машини, трансформатори та інші елементи СЕС є єдине фізичне тіло.

Тому значення додаткового перегріву **електричних машин** при несинусоїдальній напрузі:

$$\Delta \tau = \tau_c \cdot \frac{\Delta P_{M.BГ}}{\Delta P_M},$$

де  $\Delta P_M$  – втрати у міді при синусоїдальній напрузі;

$\Delta P_{M.BГ}$  – втрати у міді, зумовлені ВГ;

$\tau_c$  – температура нагрівання при синусоїдальній напрузі;

**Для асинхронних двигунів:**

$$\frac{\Delta P_{M.n}}{\Delta P_M} = \frac{\sum_{n=2}^n I_n^2}{I_1^2} = \sum_{n=2}^n k_{i.n}^2,$$

де  $I_1$  і  $I_n$  – струми  $1$  і  $n$  –ї гармонік електродвигуна;

$$k_{i.n} = \frac{I_n}{I_1}$$

**Додаткове нагрівання ізоляції обмотки силового трансформатора** можна знайти з емпіричного виразу [Электромагнитная совместимость потребителей [Текст]: моногр./И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк и др. – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.]:

$$\Delta\tau_T = 0,6 \cdot \tau_T \cdot \sum_{n=2}^n k_{in}^2 \cdot k_{rn},$$

де  $k_{in}$  – відносне (у частках струму  $I$  –ї гармоніки) значення  $n$  –ї гармоніки струму, що проходить через трансформатор;

$k_{rn}$  – коефіцієнт, що враховує зростання опору обмоток внаслідок поверхневого ефекту та ефекту близькості. Наближено можна рахувати  $k_{rn} = \sqrt{n}$ ;

$\tau_T$  – температура перегріву ізоляції при синусоїдальному режимі.

**Додатковий перегрів обмоток АД при несиметрії режиму** визначається за виразом:

$$\Delta\tau_T = 500 \cdot K_{2U}^2$$

**Для синхронних машин перегрів обмоток** визначається за формулою:

$$\Delta\tau_T = \tau_{\text{пер.н}} \cdot \frac{\Delta P_{\text{ДОД}}}{\Delta P_{\text{В.НОМ}}}, \quad (5.8)$$

де  $\tau_{\text{пер.н}}$  – перегрів бочки ротора при номінальному симетричному навантаженні;

$\Delta P_{\text{ДОД}}$  – додаткові втрати, спричинені струмом зворотної послідовності;

$\Delta P_{\text{В.НОМ}}$  – номінальні втрати в обмотці збудження;

Додаткове перегрівання силових трансформаторів при несиметрії оцінюється виразом.:

$$\Delta\tau = \alpha \cdot K_{2U}^2,$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що залежить від електромагнітних та конструктивних параметрів трансформатора.

**- батарей конденсаторів**

$$\Delta\tau = \tau_{\text{НОМ}} \cdot K_{2U}^2$$

## 5.6 Річний збиток від несинусоїдальності напруги в системі електропостачання

У системі електропостачання підприємства напругою  $U_{\text{НОМ}} = 380$  В лінійні напруги мають такі значення:  $U_{ca} = 404$  В;  $U_{ab} = 384$  В;  $U_{bc} = 379$  В

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		72

Для розрахунку показника несиметрії напруги визначасмо значення напруги зворотної послідовності основної частоти  $U_2$ .

Визначення напруги зворотної послідовності [1]:

$$U_2 = 0,62 \cdot (U_{НБ.Л} - U_{НМ.Л}).$$

де  $U_{НБ.Л}$  і  $U_{НМ.Л}$  – найбільше та найменше значення лінійної напруги.

$$U_2 = 0,62 \cdot (404 - 379) = 15,5 \text{ В.}$$

Коефіцієнт несиметрії напруги:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_{НОМ}} \cdot 100 = \frac{15,5}{380} \cdot 100 = 4,08 \%$$

Напруга має у спектрі наступні гармоніки:

$$K_{U.3} = 6,3 \%; K_{U.5} = 3,3 \%; K_{U.7} = 5,9 \%; K_{U.11} = 4,1 \%; K_{U.13} = 1,9 \%.$$

Визначимо коефіцієнт гармонійних втрат:

$$A_n = \frac{1}{n \cdot \sqrt{n}},$$

де  $n$  – номер гармоніки.

Таблиця 5.1 – Значення коефіцієнта гармонійних втрат

Номер гармоніки	3	5	7	11	13
Коефіцієнт гармонійних втрат, $A_n$	0,19245	0,08944	0,054	0,0274	0,0213

### 5.6.1 Додаткові втрати потужності у трансформаторах

Визначаються додаткові втрати потужності у трансформаторах (таблиця 5.2) від впливу ВГ та несиметрії.

Таблиця 5.2 – Технічні дані трансформаторів

Електрообладнання	Тип	Кількість	Напруга, кВ	Потужність, кВ·А, кВт	Номинальні втрати потужності, кВт	Коефіцієнт навантаження $K_{Зав}$	Напруга короткого замикання, у% %
Трансформатори	ТМН-250/10	1	10/0,4	250	$\Delta P_{кз} = 3,7$	0,9	4.5





№ п/п	Електрообладнання	Тип	Кількість	Потужність, Р <sub>ном</sub> , кВт	Коефіцієнт корисної дії, η <sub>ном</sub>	Коефіцієнт навантаження К <sub>зав</sub>	Отношение тока I <sub>г</sub> /I <sub>н</sub>
1	Токарно-гвинторізний станок 1К62	АИР160М8	2	11	0,87	0,3	6,5
2	Горизонтально-фрезерний станок 6Р81	АИР180М8	1	15	0,88	0,7	6,6
3	Мостовий кран	АИР180М8	1	15	0,88	0,5	6,6
4	Стенд обкатування двигунів	АИР200L8	1	22	0,905	0,6	6,6
5	Прес-ножиці Н5222А	АИР132М8	1	5,5	0,83	0,5	6
6	Вентилятор високого тиску	АИР132М8	1	5,5	0,83	1,0	6
7	Молот пневматичний МА4129	АИР160S8	1	7,5	0,855	0,7	6
8	Заточний станок ТНЗС-2-300	АИР160S8	1	7,5	0,855	0,7	6
9	Компресор О-16А	АИР132М8	1	5,5	0,83	0,9	6
10	Токарно-револьверний станок ТнФА2	АИР132S8	1	4	0,81	0,6	6
11	Вертикально-свердлильний 2А135	АИР132S8	1	4	0,81	0,7	6
12	Заточний станок	АИР132S8	1	4	0,81	0,8	6
13	Дистилятор ДЕ-4-М	АИР132М8	1	5,5	0,83	0,7	6
14	Гідропрес ОКС1671	АИР112МА8	1	2,2	0,79	0,5	6

Втрати потужності в асинхронному двигуні типа АИР160М8 при:

– нормальному режимі роботи:

$$\Delta P_{НОМ} = P_{НОМ} \cdot \frac{1 - \eta_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} = 11 \cdot \frac{1 - 0,87}{0,87} = 1,644 \text{ кВт}$$

- впливі ВГ

$$\begin{aligned} \Delta P_n &= \Delta P_{НОМ} \cdot \rho_{ВГ} \cdot \sum_{n=2}^n A_n \cdot U_{n.X}^2 = \\ &= 1,64 \cdot 6,5^2 \cdot (0,1925 \cdot 0,063^2 + 0,089 \cdot 0,033^2 + 0,054 \cdot 0,059^2 + \\ &+ 0,027 \cdot 0,041^2 + 0,021 \cdot 0,019^2) = 0,0766 \text{ кВт} \end{aligned}$$

- несиметрії напруги

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата
----	-----	----------	--------	------

МР.5.8.141.187.ПЗ

Арк

75

$$\Delta P_{HC} = \Delta P_{НОМ} \cdot \rho_{HC} \cdot K_{2U}^2 = 1,64 \cdot 15,665 \cdot 0,0408^2 = 0,04284 \text{ кВт}$$

Розрахунок втрати потужності електрообладнання наведено у таблиці 5.4

Таблиця 5.4 – Розрахунок втрати потужності електрообладнання

№ п/п	Електрообладнання	Втрати потужності (кВт) при		
		нормальному режимі роботи, $\Delta P_{НОМ}$	впливі ВГ, $\Delta P_{ВГ}$	несиметрії напруги, $\Delta P_{HC}$
1	Токарно-гвинторізний станок 1К62	3,288	0,1532	0,0856
2	Горизонтально-фрезерний станок 6Р81	2,045	0,0983	0,0541
3	Мостовий кран	2,045	0,0983	0,0541
4	Стенд обкатування двигунів	2,31	0,111	0,0611
5	Прес-ножиці Н5222А	1,126	0,0447	0,0271
6	Вентилятор високого тиску	1,126	0,0447	0,0271
7	Молот пневматичний МА4129	1,272	0,0505	0,0306
8	Заточний станок ТНЗС-2-300	1,272	0,0505	0,0306
9	Компресор О-16А	1,126	0,0447	0,0271
10	Токарно-револьверний станок ТнФА2	0,938	0,0373	0,02257
11	Вертикально-свердлильний 2А135	0,938	0,0373	0,02257
12	Заточний станок	0,938	0,0373	0,02257
13	Дистилятор ДЕ-4-М	1,126	0,0477	0,0271
14	Гідропрес ОКС1671	0,548	0,00714	0,01407
15	ТМН-250/10	2,997	0,979	2,462
16	ТМН-160/10	2,1465	0,7015	1,763
	Всього	25,28	2,54	4,73

Визначимо збільшення втрат потужності за рахунок наявності вищих гармонік та несиметрії напруги:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{ВГ} + \Delta P_{HC} = 2,54 + 4,732 = 7,273 \text{ кВт}.$$

$$\delta P_{ВГ, HC} = \left(1 - \frac{\Delta P_{\Sigma} - (\Delta P_{ВГ} + \Delta P_{HC})}{\Delta P_{\Sigma}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{32,55 - 7,27}{32,55}\right) \cdot 100 = 22,34 \%$$

## 6 Економічна частина

### 6.1 Розрахунок капітальних вкладень

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства, показаної на рис. 6.1, та вхідних даних, приведених у табл. 6.1 – табл. 6.3, проведемо розрахунки.

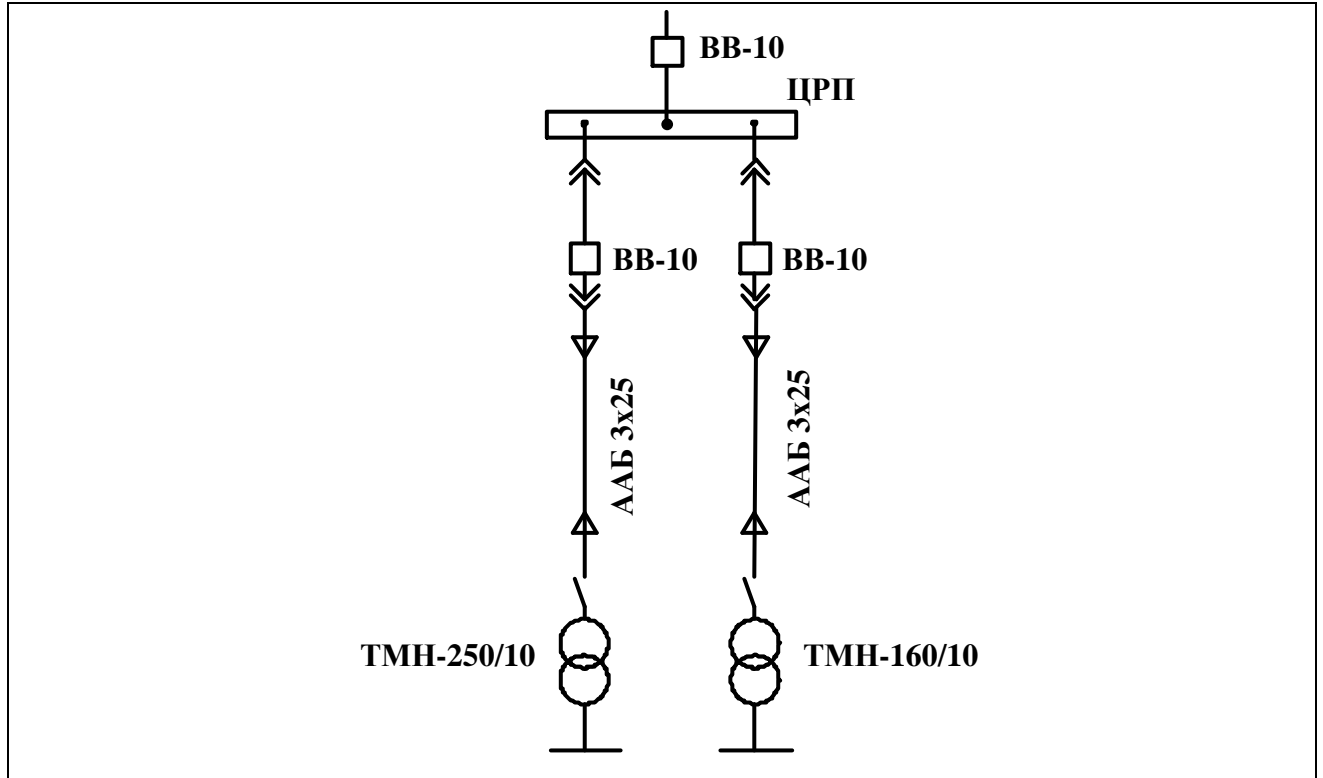


Рисунок 6.1 - Схема електричної мережі підприємства

Таблиця 6.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

№	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів
ТП 1	ТМН – 250	1
ТП 2	ТМН – 160	1

Таблиця 6.2 – Відомості про кабельні лінії

Найменування ліній	Довжина (м)	Марка кабелю	К-сть
ЦРП - ТП1	94,5	ААБ 3×25	1
ЦРП - ТП2	2	ААБ 3×25	1

					МР.5.8.141.187.ПЗ			
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Вакуленко				<b>Економічна частина</b>	Літ	Аркуш	Аркушів
Керівник.	Лебединский					В	77	117
Н. контр.	Ефімов Г.П				СумДУ ЕТмдн-01п			
Затверд.	Лебединский							

Таблиця 6.3 – Розрахункова потужність цехів підприємства

№ п/п	Найменування цеху	Розрахункова потужність	Кількість змін	№ п/п	Найменування цеху	Розрахункова потужність	Кількість змін
1	Адміністративна будівля	20	1	12	Компресорна	55	1
2	Підсобна будівля	5	1	13	Арматурний цех	18	1
3	Прохідна	1	1	14	Котельня	6	1
4	Вапногасилка	3	1	15	Побутові приміщення	2	1
5	РБУ	65	1	16	Оранжерея	10	1
6	Кладови	5	1	17	Сушилка	1	1
7	ПМП	3	1	18	Столярна майстерня	30	1
8	Бокси	7	1	19	Пилорама	55	1
9	Зварювальна	25	1	20	Цементний склад	20	1
10	Майстерні ВГМ	118	1	21	Мийка	3	1
11	Полігон з/б виробів	6	1				

Розрахунок капіталовкладень в лінії електропередач проводимо за вартістю кабелів та їх прокладання.

Капітальні вкладення для ліній електропередач

$$K_{л} = (K_{пит} + K_{прок}) \cdot L \quad (6.1)$$

де  $K_{пит}$  - питома вартість на 1 км лінії, тис.в.о./км;

$K_{прок}$  - питома вартість прокладання, тис.в.о./км;

$L$  - довжина лінії електропередачі, км.

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від ЦРП до ТП1 (ААБ 3х25) в ґрунті III категорії без врахування переходів:

$$K_{л1} = (K_{пит} + K_{прок}) \cdot L = (9,65 + 2,68) \cdot 0,0945 = 1,1652 \text{ тис.в.о.}$$

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від ЦРП до ТП2 (ААБ 3х25) в ґрунті III категорії без врахування переходів:

$$K_{л2} = (K_{пит} + K_{прок}) \cdot L = (9,65 + 2,68) \cdot 0,002 = 0,025 \text{ тис.в.о.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередач

Назва лінії	Марка кабелю	Кількість	Довжина, м	$K_{пит}$ , тис.в.о	$K_{прок}$ тис.в.о	$K_{л}$ , тис.в.о
ЦРП-ТП1	ААБ 3 × 25	1	94,5	9,65	2,68	1,1652
ЦРП-ТП2	ААБ 3 × 25	1	2	9,65	2,68	0,025
РАЗОМ						1,1902

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

$$K_{ПС} = \sum_{i=1}^l K_{ПС.i} + R_{пост}, \quad (6.2)$$

де  $K_{ПС.i}$  – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис.в.о ;

$l$  – кількість підстанцій;

$K_{пост}$  – постійні витрати, що практично не залежать від потужності підстанції і пов’язані з устроєм території, з створенням майстерень, лабораторій і диспетчерських пунктів, з будівництвом житла тощо, тис.в.о.

Постійні витрати прийняти у розмірі 20 % від повної вартості всіх підстанцій.

Визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторних підстанцій (для ТП–1):

$$K_{пс.1} = 75 + 15 = 90 \text{ тис.в.о.}$$

									Арк
									79
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					

Визначаємо величину капіталовкладень для трансформаторних підстанцій (для ТП-2):

$$K_{пс.2} = 60 + 12 = 72 \text{ тис.в.о.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 – Розрахунок капіталовкладень для електричних підстанцій

№	Тип	Кількість трансформатора	Код, тис.в.о	К <sub>пост</sub> , тис.в.о	К <sub>пс</sub> , тис.в.о
ТП-1	ТМН- 250	1	75	15	90
ТП-2	ТМН- 160	1	60	12	72
РАЗОМ					162

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів. Відповідно до схеми, кількість вимикачів 10 кВ – 4 шт. Відповідно рекомендацій приймаємо вартість вимикача 10 кВ рівною 20–25 тис.в.о.

$$\text{Сумарна вартість вимикачів: } K_B = 3 \cdot 20 = 60 \text{ тис.в.о.}$$

Вартість підстанцій з вимикачами

$$K_{пс} = 162 + 60 = 222 \text{ тис.в.о.}$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 1,19 + 222 = 223,19 \text{ тис.в.о.}$$

## 6.2 Розрахунок плати за електроенергію

Показники витрат і втрат потрібні для визначення собівартості 1 кВт·год. електроенергії, що споживається підприємством.

Річні витрати активної електроенергії промислового підприємства визначаються як сума витрат електроенергії силових і освітлювальних споживачів з урахуванням втрат у лініях і трансформаторах. У даному випадку рекомендується виконува-

						MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			80

ти розрахунок кількості корисної електроенергії виходячи з установленної потужності електроспоживачів цехів, коефіцієнта попиту і кількості годин використання максимуму навантаження, кВт·год/рік:

$$E_A = K_{\Pi i} \times P_{H i} \times T_{M i}, \quad (6.3)$$

де  $P_{H i}$  - установлена потужність електроприймачів цехів, кВт;

$T_{M i}$  - річна кількість годин використання максимуму активного навантаження, год;

Річна кількість годин використання максимуму активної потужності по галузях промисловості при різному числі робочих змін приводяться в галузевих інструкціях і довідкових матеріалах. Величина  $T_m$  у середньому за рік складає: для освітлювальних навантажень - 1500...2000 год.; для однозмінних підприємств - 2000...3000 год.; для двозмінних - 3000...4500 год. і тризмінних 4500...8000 год.

Річна витрата активної електроенергії для ТП1:

$$E_A = 0,6 \cdot 219 \cdot 2500 = 328500 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Річна витрата активної електроенергії для ТП2, кВт·год/рік:

$$E_A = 0,6 \cdot 239 \cdot 2500 = 358500 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.2.1.

Таблиця 6.2.1 - Розрахунок річних витрат активної електроенергії без врахування втрат у внутрішньозаводській розподільній мережі.

Підстанція	Факт.потужність підстанції, кВА	Кі-сть змін	$K_{\Pi}$	$T_m$ , год	$E_A$ , кВт·год
ТП 1	219	1	0,6	2500	328500
ТП 2	239	1	0,6	2500	358500
всього					687000

Для визначення повної потреби підприємства в електроенергії необхідно до отриманого результату додати втрати електроенергії в лініях і трансформаторах.

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо як:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot I_m^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3} \quad (6.4)$$

									Арк
									81
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	MP.5.8.141.187.ПЗ				





РАЗОМ							12,8
-------	--	--	--	--	--	--	------

Втрати електроенергії в трансформаторах визначають за формулою, тис. кВт·год./рік:

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_X \cdot T_P + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_K \cdot \left( \frac{S_\phi}{S_H} \right)^2 \cdot \tau, \quad (6.6)$$

де  $n$  - число трансформаторів;

$\Delta P_K$  і  $\Delta P_X$  – величини номінальних втрат у трансформаторах відповідно короткого замикання і холостого ходу, кВт;

$T_P$  - час роботи трансформаторів, год/рік (приймається рівним 8760 год/рік);

$S_\phi$  - фактична потужність, що передається через трансформатор, кВА;

$S_H$  - номінальна потужність трансформатора, кВА.

Відповідно втрати енергії в трансформаторі ТП-1:

$$\Delta E_T = 1 \cdot 0,7 \cdot 8760 + \frac{1}{1} \cdot 4,2 \cdot \left( \frac{208}{250} \right)^2 \cdot 1224,9 = 9094,92 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Відповідно втрати енергії в трансформаторі ТП-2:

$$\Delta E_T = 1 \cdot 0,51 \cdot 8760 + \frac{1}{1} \cdot 3,1 \cdot \left( \frac{178}{160} \right)^2 \cdot 1224,9 = 9167,22 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Результати зводимо у таблиці 6.3.

Таблиця 6.2.3 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип трансформатора	К-сть тр-рів	$\Delta P_X$ , кВт	$\Delta P_K$ , кВт	$S_p$ , кВА	$S_H$ , кВА	$\Delta E_T$ , кВт·год/рік
ТП-1	ТМН – 250	1	0,74	4,2	208	250	9094,92
ТП-2	ТМН – 160	1	0,51	3,1	178	160	9167,22
ВСЬОГО							18262,14

Загальна потреба підприємства в електроенергії, кВт·год/рік:

$$E = E_A + \Delta E_L + \Delta E_T = 687000 + 12,8 + 18262,14 = 705274,94 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} \quad (6.7)$$

					MP.5.8.141.187.ПЗ		Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			83

Оплата за спожиту електроенергію:

– у разі застосування одноставкового тарифу:

$$C_{\Pi} = 0,52 \cdot 705274,94 = 366743,96 \text{ в.о.}$$

### 6.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

#### 6.3.1 Розрахунок чисельності персоналу

Розрахунок чисельності ремонтного та обслуговуючого персоналу проводиться відповідно до кількості та виду електрообладнання загальнозаводської частини енергогосподарства. Персонал, що обслуговує електроприймачі виробничих цехів, можна віднести до робітників цих підрозділів і в дипломній роботі не враховувати.

Кількість робітників, що необхідна для технічного обслуговування і поточного ремонту всього енергоустаткування і мереж, визначається виходячи з трудомісткості робіт, що виконуються. При цьому рекомендується скористатися нормативами системи ТОР ЕО обладнання і мереж промислової енергетики .

Чисельність ремонтного персоналу, люд.:

$$N_{P.\Pi} = \frac{T_{P.P}}{\Phi_D \cdot K_{B.H}} = \frac{106,5}{1900 \cdot 1,1} = 0,051 \text{ люд} \quad (6.8)$$

Експлуатаційні робітники, люд.:

$$N_{EKS.\Pi} = \frac{T_{EKS.\Pi}}{\Phi_{EKS.\Pi} \cdot K_{B.H}} = \frac{629,63}{1900 \cdot 1,05} = 0,315 \text{ люд} \quad (6.9)$$

де  $T_{P.P}$  - річна планова трудомісткість поточного ремонту, люд·год;

$\Phi_D$  – дійсний (ефективний) фонд часу роботи одного робочого в рік; (як правило, приймається рівним 1850-1900 год);

$K_{B.H}$  – плановий коефіцієнт виконання норм для даної категорії робітників. При розрахунках можна брати для ремонтного персоналу його значення 1,10, а для експлуатаційного – 1,05;

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		84

**Т<sub>ЕКС.П</sub>** – річна планова трудомісткість технічного обслуговування з обліком трудозатрат на огляди (перевірки, іспити), створювані як самостійні операції, люд.-год.

Планова трудомісткість відповідного виду робіт **Т** (**Т<sub>П.Р</sub>** , **Т<sub>ЕКС.П</sub>**) залежить від кількості однотипного устаткування, трудомісткості одиниці цих робіт і числа їх повторень протягом року.

Згідно [ПУЕ] приймаємо **Н<sub>П.Р</sub> = 2 люд.**, **Н<sub>ЕКС.П</sub> = 2 люд.**

Планову трудомісткість, люд.-год/рік:

$$T = \Pi \cdot t_{\text{нор}} \cdot h \quad (6.10)$$

де **Π** - кількість ремонтів даного виду в рік, що приходяться на одиницю обладнання;

**t<sub>нор</sub>** – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год;

**h** - кількість обладнання визначеного діапазону потужності, що підлягає даному виду ремонтних робіт.

Для даної схеми трудомісткість ремонту вимикачів 10 кВ, люд–год/рік:

$$T = 1 \cdot 16 \cdot 2 = 32.$$

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до таблиці 6.3.1.

					МП.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		85



### 6.3.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Для розрахунку оплати праці експлуатаційних робітників використаємо погодинно-преміальну систему, а для ремонтного персоналу – відрядно-преміальну. Преміювання експлуатаційних робітників здійснюється за безаварійну і надійну роботу енергообладнання і мереж, економію енергоресурсів, компенсацію реактивної потужності. Ремонтний персонал преміюється за високоякісне і своєчасне виконання ремонтних робіт.

Величина премії (відповідно категоріям енергоперсоналу) може бути прийнята в розмірі 20 і 25 %.

Фонд прямої заробітної плати:

а) для робітників, зайнятих на роботах по експлуатації й обслуговуванню енергообладнання і мереж, розраховується за формулою, в.о./рік:

$$\Phi_e = N_{\text{обс}} \cdot \beta_n \cdot t_{\text{ге}} \cdot \Phi_d \quad (6.11)$$

Годинну тарифну ставку розрахуємо за формулою:

$$C_{\text{год.т.с}} = \frac{K3 + K4}{2} \cdot C_I \quad (6.12)$$

де  $K3, K4$  – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно;

$C_I = 5$  в.о./год – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, задана в завданні.

Тоді годинна тарифна ставка III та IV розряду становитиме:

$$C_{\text{год.т.с}} = \frac{1,18 + 1,27}{2} \cdot 5 = 6,125 \frac{\text{в.о.}}{\text{год}}$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 2 \cdot 0,9 \cdot 6,125 \cdot 1900 = 20947,5 \text{ в.о./рік.}$$

б) для робітників, що виконують поточний ремонт енергоустаткування, фонд прямої заробітної плати розраховується за формулою, в.о./рік:

$$\Phi_p = T_{\text{пр}} \cdot t_{\text{гр}} \quad (6.13)$$

					МП.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		87

$$C_{\text{год.т.с}} = \frac{K4 + K5}{2} \cdot C_I \quad (6.14)$$

де **K4**, **K5** – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів.

Розраховуємо годинну тарифну ставку IV та V розряду:

$$C_{\text{год.т.с}} = \frac{1,27 + 1,36}{2} \cdot 5 = 6,575 \frac{\text{в.о.}}{\text{год.}}$$

$$\Phi_p = 106,5 \cdot 6,575 = 700,23 \text{ в.о./рік.}$$

Фонд основної заробітної плати, в.о/рік:

$$\Phi_o = \Phi \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + \alpha), \quad (6.15)$$

де  $\Phi$  - тарифний фонд  $\Phi_e$  експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати  $\Phi_p$  ремонтного персоналу, в.о/рік;

0,01 - частка доплат за роботу у святкові дні;

0,05 - частка доплат за роботу в нічний час;

$\alpha$  - частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{oe} = 20947,5 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 26393,85 \text{ в.о./рік}$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 700,23 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,25) = 917,3 \text{ в.о./рік}$$

Величина додаткової заробітної плати визначається в розмірі 15 % по відношенню до фонду основної заробітної плати. Тому сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, в.о/рік:

$$\Phi_{од} = \Phi_o \cdot 1,15 \quad (6.16)$$

$$\Phi_{оЕд} = 26393,85 \cdot 1,15 = 30352,92 \text{ в.о./рік;}$$

$$\Phi_{орд} = 917,3 \cdot 1,15 = 1054,89 \text{ в.о./рік.}$$

З метою утворення фонду соціального страхування здійснюються нарахування на заробітну плату. З цього фонду кошти витрачаються на виплату по тимчасовій втраті працездатності, оплату відпусток по вагітності, санаторно-курортні ліку-

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		88

вання й організацію відпочинку працівників, оздоровчі заходи для дітей працівників та інше.

Крім того, на заробітну плату здійснюються нарахування в пенсійний фонд та фонд зайнятості. Таким чином витрати по заробітній платі  $C_{ЗП}$ , розраховуються як, в.о/рік:

$$C_{ЗП} = \Phi_{ОБ} \cdot \left( 1 + \frac{\beta_{П} + \beta_{З} + \beta_{С}}{100} \right), \quad (6.17)$$

де  $\beta_{П}$  – нарахування в пенсійний фонд,  $\beta_{П} = 32 \%$ ;

$\beta_{З}$  – нарахування у фонд зайнятості,  $\beta_{З} = 1,5 \%$ ;

$\beta_{С}$  – нарахування на соціальне страхування,  $\beta_{С} = 4 \%$ .

Відповідно розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу:

$$C_{ЗПЕ} = 30352,92 \cdot \left( 1 + \frac{32 + 1,5 + 4}{100} \right) = 41735,265 \frac{\text{в.о.}}{\text{рік}}$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{ЗПР} = 1054,89 \cdot \left( 1 + \frac{32 + 1,5 + 4}{100} \right) = 1450,473 \frac{\text{в.о.}}{\text{рік}}$$

### 6.3.3 Витрати на матеріали

Розрахунок необхідної на рік кількості основних матеріалів для усіх видів ремонтів і технічного енергетичного обслуговування устаткування і мереж розробляється на підставі трудомісткості і існуючих норм витрат матеріалів. Якщо на окремі види матеріалів норми відсутні, підприємство розробляє їх самостійно і затверджує.

Розрахунок трудомісткості спрощується при виконанні його в табличній формі. Оскільки вартість конкретного виду матеріалу можна визначити як добуток норми його витрат на ціну, то доцільно по кожному виду устаткування і мереж ви-

									Арк
									89
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					



значити підсумкову вартість усіх матеріалів, а потім її помножити на трудомісткість поточного ремонту чи технологічного обслуговування.

З метою спрощення планування в системі ТОР ЕО витрати матеріалів віднесені на 100 люд.-год трудомісткості усіх видів ремонтів, включаючи технічне обслуговування. Таким чином, знаючи трудомісткість плану ППР, легко розрахувати потребу в матеріалах.

Річна вартість матеріалів для поточного ремонту кожного виду устаткування чи мереж, в.о./рік:

$$C_{MTP} = 0,01 \cdot \sum_{i=1}^f T_{T.P.i} \cdot \sum_{j=1}^q m_{T.P.j} \cdot \Pi_{M.j}, \quad (6.18)$$

де 0,01 - коефіцієнт приведення співмножників у порівняльний вигляд;

$f$  - кількість груп устаткування і мереж у схемі електропостачання;

$T_{T.P.i}$  - трудомісткість поточного ремонту  $i$ -ої групи енергоустаткування, люд.-год;

$q$  - число різновидів матеріалів;

$m_{T.P.j}$  - норма витрати  $j$ -го виду матеріалу на 100 люд.-год трудомісткості поточного ремонту  $i$ -ої групи устаткування і мереж;

$\Pi_{M.j}$  - ціна одиниці матеріалу, в.о.

Аналогічно проводиться розрахунок планової вартості матеріалів для здійснення технологічного обслуговування устаткування і мереж, в.о./рік:

$$C_{MTO} = 0,01 \cdot \sum_{i=1}^f T_{T.O.i} \cdot \sum_{j=1}^q m_{T.O.j} \cdot \Pi_{M.j}, \quad (6.19)$$

Таблиця 6.3.2 - Розрахунок вартості матеріалів включених у норму витрат

Матеріал	Середня ціна, в.о	Норми витрати на 100 люд.год.	Вартість матер. ремонту в.о	Вартість матер. огляд в.о	Норми витрати на 100 люд.год.	Вартість матер. ремонту в.о	Вартість матер. огляд в.о
Силові трансформатори			ТМН-250			ТМ-160	

					МР.5.8.141.187.ПЗ			Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				90

Трудомісткість			19,8	194,4		29,6	291,2
Сталь сортова, кг	2,497	5	2,47	24,27	5	3,70	36,36
Провід , м	1,036	1	0,21	2,01	1	0,31	3,02
Мідь / Алюміній (гола), кг	23,252	36	165,74	1627,27	36	247,77	2437,55
Картон електроізоляційний	11,208	1,2	2,66	26,15	1,2	3,98	39,17
Лакотканина шириною 700 мм, м	31,088	0,15	0,92	9,07	0,15	1,38	13,58
Кабельний папір , кг	9,167	0,5	0,91	8,91	0,5	1,36	13,35
Стрічка кіперна, кг	112,11	25	554,94	5448,55	25	829,61	8161,61
Стрічка тафтяна, кг	83,28	12	197,87	1942,76	12	295,81	2910,14
Стрічка азбестова електроізол., м	2447,01	0,04	19,38	190,28	0,04	28,97	285,03
Лаки ізоляційні, кг	13,408	0,8	2,12	20,85	0,8	3,18	31,24
Емалі ґрунтові, кг	14,711	2	5,83	57,20	2	8,71	85,68
Масло трансформаторне, кг	4,545	0,3	0,27	2,65	0,3	0,40	3,97
Бензин , кг	2,306	0,6	0,27	2,69	0,6	0,41	4,03
Розчинники, кг	6,499	0,7	0,90	8,84	0,7	1,35	13,25
Маслостійка гума, кг	16,665	0,3	0,99	9,72	0,3	1,48	14,56
Гума профільна, кг	16,665	0,12	0,40	3,89	0,12	0,59	5,82
Припій олов'яно-свинцевий, кг	158,757	0,02	0,63	6,17	0,02	0,94	9,25
Припій мідно-фосфористий, кг	29,543	0,02	0,12	1,15	0,02	0,17	1,72
Електроди, кг	5,484	0,1	0,11	1,07	0,1	0,16	1,60
Кріпильні вироби, кг	6,984	1,5	2,07	20,37	1,5	3,10	30,51
Шнур кручений, м	0,912	0,12	0,02	0,21	0,12	0,03	0,32
Обтираючий матеріал, кг	9,09	0,3	0,54	5,30	0,3	0,81	7,94
Разом:			959,38	9419,36		1434,22	14109,66
Разом для поточних ремонтів:					2393,605		
Разом для технічного обслуговування:					23530,5		
Кабельні лінії							
Трудомісткість			7,2	72,1			
Сталь сортова, кг	2,497	15	2,697	29,165			
Електроди, кг	5,484	0,3	0,118	0,026			
Разом:			2,815	29,191			

					МП.5.8.141.187.ПЗ			Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				91

Таким чином, можна розрахувати:

- витрати по обслуговуванню електроустановок і мереж, в.о./рік:

$$C_{обс} = C_{зп.то} + C_{м.то} \quad (6.20)$$

$$C_{обс} = 41735,265 + 2393,6058 = 44128,87 \text{ в.о./рік}$$

- витрати по їх поточному ремонту, в.о./рік:

$$C_{тр} = C_{зп.тр} + C_{м.тр} \quad (6.21)$$

$$C_{тр} = 1450,473 + 23530,5 = 24980,973 \text{ в.о./рік}$$

### 6.3.4 Визначення амортизаційних витрат

Основні фонди в процесі експлуатації піддаються фізичному і моральному зносу. Це вимагає безупинного їхнього відтворення, а також виконання капітальних ремонтів і модернізації. Засоби, призначені для повної заміни і часткового відновлення основних фондів, називаються амортизаційними відрахуваннями. Вони включаються в собівартість виготовленої на даному підприємстві продукції і реалізуються при її продажу.

Амортизаційні відрахування визначаються від первісної вартості ОФ по нормах. Норма амортизації являє собою встановлений у плановому порядку щорічний відсоток погашення вартості відповідних ОФ за рахунок амортизаційних відрахувань.

Для визначення річного амортизаційного фонду необхідно знати вартість амортизаційних ОФ (величину капіталовкладень), розрахованих у розділі 6.1.

Амортизаційні відрахування, тис. в.о./рік:

$$C_a = a \cdot K \quad (6.22)$$

де  $a$  – норма амортизації, %

$K$  – капіталовкладення, в.о.

$$C_a = 0,3 \cdot 223,19 = 66,957 \text{ тис.в.о./рік}$$

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		92

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат виділяються інші витрати. Вони включають витрати на допоміжні матеріали, послуги виробничим підрозділам підприємства, частина загальнозаводських витрат. Їх можна приймати в розмірі 20 – 30 % від суми витрат на обслуговування, поточний ремонт і амортизацію, тис.в.о./рік:

$$C_{ПР} = \beta_{ПР} \cdot (C_{Обл} + C_{ТР} + C_a) \quad (6.23)$$

$$C_{ПР} = 0,25 \cdot (44128,87 + 24980,973 + 66957) = 34016,71 \text{ в.о./рік,}$$

де  $\beta_{ПР} = 0,25$  – коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

#### 6.4 Розрахунок собівартості електроенергії

Річні витрати на передавання та трансформацію електроенергії, відповідно до СЕП промислового підприємства, визначають за формулою, в.о./рік:

$$C = C_{ПР} + C_{Обл} + C_{ТР} + C_a, \quad (6.24)$$

де  $C_{Обл}$  - витрати підприємства на матеріали і зарплату персоналу при обслуговуванні електромереж і устаткування, в.о./рік.;

$C_{ТР}$  - річні витрати на поточний ремонт устаткування і мереж, в.о./рік;

$C_a$  – щорічні амортизаційні відрахування, в.о./рік;

$C_{ПР}$  – вартість річних витрат електроенергії, грн./рік.

$$C = 34016,71 + 44128,87 + 24980,973 + 66957 = 170083,553 \text{ в.о./рік.}$$

Після визначення всіх елементів витрат підприємства, необхідних для передачі і розподілу електроенергії, зведемо їх в таблицю 6.4.1.

Таблиця 6.4.1 – Кошторис річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, тис.в.о	Структура, % до підсумку
Витрати по експлуатації енергоустаткування і мереж	44,129	25,94

Поточний ремонт	24,98	14,68
Амортизаційні відрахування	66,957	39,36
Інші витрати	34,016	19,99
Всього:	170,083	100,00

Промислові підприємства, що споживають електроенергію від зовнішнього джерела, з одного боку, оплачують кількість отриманої енергії по тарифу, а з іншого боку - несуть додаткові витрати при передачі і розподілі електроенергії від мереж енергосистеми до цехових споживачів. Отже, загальні (сумарні) витрати підприємства на електроенергію за рік будуть складати, тис. в.о./рік:

$$C_{\text{сум}} = C + C_{\text{п}}, \quad (6.25)$$

де  $C$  - плата за електроенергію енергосистемі, в.о./рік;

$C_{\text{п}}$  - річні витрати підприємства по передачі і розподілу електроенергії, в.о./рік.

$$C_{\text{сум}} = 366743,96 + 170083,553 = 536827,513 \text{ в.о./рік}$$

Собівартість – це всі грошові витрати підприємства на виробництво і реалізацію продукції. Для підрахунку продукції усі витрати плануються по статтях калькуляції (витрат).

Особливістю визначення собівартості електроенергії є те, що при цьому враховуються не тільки витрати на її трансформацію і передачу, але і вартість її купівлі в енергосистеми. Відповідно собівартість однієї корисної кВт·год електроенергії, що споживається підприємством, коп./кВт·год:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a}, \quad (6.26)$$

де  $C_{\text{сум}}$  – величина сумарних витрат підприємства на електроенергію, в.о./рік;

$E_a$  – річна кількість електроенергії, що споживається підприємством, без врахування втрат у лініях і трансформаторах, кВт·год/рік.

$$S = \frac{536827,513 \cdot 100}{687000} = 78,14 \frac{\text{коп}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$$

						Арк
						94
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	МП.5.8.141.187.ПЗ	

Для наочності результати калькулювання собівартості кВт-год споживаної підприємством електроенергії рекомендується звести в таблицю 6.4.2.

Таблиця 6.4.2 - Результати калькулювання собівартості кВт-год споживаної підприємством електроенергії за рік

Показники	Позначення	Величина показників
Кількість корисної споживаної підприємством ел.енергії	$E_a$	687000 кВт·год
Річне споживання ел.енергії з урахуванням втрат енергії в трансформаторах	E	705274,92 кВт·год
Плата ен.системі за ел.енергію	Ц	366746,96 в.о
Річні витрати по передачі і розподілу ел.енергії	Сн	170083,55 в.о.
Сумарні витрати підприємства на ел.енергію	Ссум	536827,51 в.о
Собівартість споживаної енергії	S	78,14 коп/кВт·год

## 7 Охорона праці

Будівельно-монтажне підприємство представляє собою підприємство з різними параметрами електроенергії, умовами експлуатації обладнання та характером середовища, в якому воно встановлено.

В цехах передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці (ковбасний, шкуропосолочний, цехи). Усі металічні не струмоведучі частини (корпуса електродвигунів, шкафів, світильників тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок ураження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

Фізичні виробничі фактори для робочого персоналу [18]:

- 1) підвищена чи понижена температура повітря робочої зони;
- 2) рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- 3) підвищена чи понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- 4) недостатнє освітлення робочої зони;
- 5) відсутність чи недостатність природного освітлення;
- 6) небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якої може відбутися через тіло людини;
- 7) підвищений рівень шуму на робочому місці;
- 8) підвищений рівень вібрації;
- 9) підвищена вологість повітря;

Хімічно небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що діють на організм робочого персоналу, відносяться до подразнюючої підгрупи: дія через шкіряний покрив.

Група психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів для робочого персоналу, за характером дії, розділяється на наступні підгрупи:

					MP.5.8.141.187.ПЗ		
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Вакуленко				Літ	Аркуш	Аркушів
Керівник.	Лебединский				В	96	117
Н. контр.	Єфімов Г.П				СумДУ ЕТмдн-01п		
Затверд.	Лебединский						
<b>Охорона праці</b>							

- 1) фізичні перевантаження;
- 2) нервово – психічні перевантаження.

Фізичні перевантаження, в свою чергу характеризуються статичними перевантаженнями.

Нервово – психічні перевантаження характеризуються монотонністю праці.

### 7.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

Роботи в електроустановках по відношенню до їх організації поділяються на: роботи, що виконуються по наряду-допуску (далі по наряду), та роботи які виконуються по розпорядженню та в порядку поточної експлуатації.

Організаційними заходами, які забезпечують безпечність робіт в електроустановках, є [19]:

- підтвердження переліку робіт, які виконуються по нарядам, розпорядженням та в порядку поточної експлуатації;
- призначення осіб, відповідальних за безпеку виконання (введення) робіт;
- оформлення робіт нарядом, розпорядженням або переліку робіт, які виконуються в порядку поточної експлуатації;
- підготовка робочих місць;
- допуск до робіт;
- нагляд під час ведення робіт;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв в роботі та її закінчення.

Технічними заходами, які забезпечують безпеку робіт в електроустановках є:

- порядок підготовки робочого міста;
- відключення (зняття напруги);
- вивішування плакатів безпеки. Огородження робочого місця;
- перевірка відсутності напруги;
- установка заземлень.

Загальні вимоги:

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		97







Кільця ротора допускається шліфувати на електродвигуні, що обертається, лише за допомогою колодок з ізоляційного матеріалу, із застосуванням захисних окулярів.

Під час роботи на електродвигуні заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднує електродвигун з РУ (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаній з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід.

Якщо на відключеному електродвигуні роботи не провадять або їх перервано на кілька днів, то від'єднана від нього кабельна лінія має бути заземлена з боку електродвигуна. В тих випадках, коли перетин жил кабелю не дозволяє застосовувати переносні заземлення, допускається у електродвигунів напругою до 1000 В заземлювати кабельну лінію мідним провідником, перетином не меншим від перетину з жили кабелю, чи з'єднувати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Таке заземлення і з'єднання жил кабелю слід враховувати в оперативному журналі нарівні з переносним заземленням.

Ремонт і налагоджування електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконавчим механізмом, регулювальних органів і запірної арматури, можна проводити за розпорядженням. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на виведення електроприводу в ремонт, налагодження. Про це слід зробити запис під час оформлення розпорядження.

Вмикання електродвигуна для випробування до повного закінчення роботи здійснюється після виведення бригади з робочого місця.

Після випробування провадиться повторний допуск з оформленням у наряді.

Під час виконання роботи за розпорядженням на повторний допуск розпорядження дається знову.

### **7.3 Роботи на комутаційних апаратах**

7.3.1. Перед допуском до роботи на комутаційних апаратах з дистанційним керуванням слід виконати такі технічні заходи:

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		100

- відключити силові кола приводу, кола оперативного струму і кола підігріву;
- закрити і замкнути на замок засувки на трубопроводі подачі повітря в баки вимикачів або на пневматичні приводи і випустити в атмосферу повітря, що в них є, в цьому разі спускні пробки (клапани) залишаються у відкритому стані;
- привести в неробочий стан вантаж або пружини, що вмикають комутаційні апарати;
- вивісити плакати «Не вмикати! Працюють люди» на ключах дистанційного керування і «Не відкривати! Працюють люди» на закритих засувках.

7.3.2. Для пробних вмикань і вимикань комутаційного апарата під час його налагоджування і регулювання допускається у випадку, якщо ще не здано наряд, тимчасове подавання напруги в кола оперативного струму і силові кола приводу, в кола сигналізації і підігрівання, а також подавання повітря в привод і на вимикач.

Встановлення знятих запобіжників, вмикання відключених кіл і відкриття засувок під час подавання повітря, а також зняття на час випробування плакатів «Не вмикати! Працюють люди» і «Не відкривати! Працюють люди» здійснюють оперативні працівники або з їх дозволу керівник робіт. Дистанційно вмикати або вимикати комутаційний апарат для випробування дозволяється особі, яка проводить налагодження чи регулювання, або за її вимогою оперативному працівнику.

Після випробування, в разі необхідності продовження роботи на комутаційному апараті, оперативним працівником або, з його дозволу, – керівником робіт слід виконати технічні заходи, що вимагаються для допуску до роботи, вказані в пункті 7.3.1.

#### **7.4 Роботи з пристроями релейного захисту**

7.4.1. Для забезпечення робіт, що їх провадять в колах вимірювальних приладів і пристроїв релейного захисту, всі вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів струму і напруги слід постійно заземлювати.

За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів і реле кола вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорочується на спеціально призначених для цього затискачах.

7.4.2. Розривати кола, підключені до вторинної обмотки трансформатора струму, забороняється. За необхідності розриву цих кіл вони мають бути попередньо замкнуті перемичкою, встановленою до передбачуваного місця розриву (раховуючи від трансформатора струму). Під час встановлення перемички слід застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками.

7.4.3. Під час роботи на трансформаторах струму або в колах, підключених до їх вторинних обмоток, слід виконувати такі заходи безпеки: зажими вторинних обмоток до закінчення монтажу кіл, що до них підключаються, мають бути замкнені накоротко. Після приєднання змонтованих кіл до трансформатора струму закоротку слід переносити на найближчу збірку затискачів і знімати тільки після повного закінчення монтажу та перевірки правильності приєднання змонтованих кіл; під час перевірки полярності до подавання імпульсів струму в первинну обмотку прилади слід приєднувати до затискачів вторинної обмотки.

Забороняється використовувати шини первинних обмоток як струмовідні під час монтажних та зварювальних робіт.

Робота в колах пристроїв релейного захисту, електроавтоматики і телемеханіки (РЗАіТ) проводиться за виконавчими схемами.

Під час робіт в пристроях РЗАіТ слід користуватися слюсарно-монтажним інструментом з ізолювальними рукоятками.

Під час робіт в колах трансформаторів напруги з подачею напруги від стороннього джерела знімаються запобіжники з боку вищої і нижчої напруги, а також відключаються автомати від вторинних обмоток.

Забороняється на панелях або поблизу місця розміщення релейної апаратури провадити роботи, які викликають сильний струс релейної апаратури, що може спричинити до помилкових дій реле.

## 7.5 Вимоги до електрозварювальних робіт та обладнання

7.5.1 Електрозварювальні роботи слід виконувати згідно з вимогами “Правил техніки безпеки и производственной санитарии при электросварочных работах”, затверджених Мінхіммашем СРСР 08.07.85, та Правил пожежної безпеки в Україні.

Електрозварювальне обладнання має відповідати вимогам ГОСТ 12.2.007.8 та ПВЕ.

7.5.2 До електрозварювальних робіт допускаються робітники, не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальну підготовку та перевірку теоретичних знань і практичних навиків, знань інструкцій з охорони праці і мають кваліфікаційне посвідчення з записом про допуск на виконання цих робіт, спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум) та щорічну перевірку знань з одержанням спеціального посвідчення згідно з вимогами Правил пожежної безпеки в Україні.

Порядок організації та проведення інструктажів, навчання та перевірки знань з пожежного мінімуму, встановлено Типовим положенням про спеціальне навчання, інструктажі та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах і в установах та організаціях України, затвердженим наказом МВС України від 17.11.94 №628, зареєстрованим в Мінюсті України 22.12.94 за №307/517.

Електрозварювальники повинні мати II групу з електробезпеки. Електрозварювальники, яким надано право самостійного підключення зварювального обладнання до електромереж, повинні мати III групу з електробезпеки.

7.5.3 Підготовка електрозварювальників має проводитись у спеціалізованих професійно-технічних училищах, на курсах зі зварювання, на підприємствах чи в учбових комбінатах.

Атестація зварювальників на право виконання зварювальних робіт під час виготовлення, монтажу та ремонту об'єктів, що підлягають реєстрації в Держнаглядохоронпраці, має проводитись відповідно до Правил атестації зварників, затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 19.04.96 №61, зареєстрованих в Мінюсті України 31.05.96 за № 262/1287.

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		103

7.5.4 Для електрозварювальних установок та зварювальних постів, призначених для постійних електрозварювальних робіт у будовах поза збірно-зварювальними цехами та ділянками, мають бути передбачені спеціальні вентилязовані приміщення зі стінами із негорючих матеріалів.

У приміщенні для електрозварювальних установок слід передбачити достатні за шириною проходи, які забезпечують зручність та безпеку виконання зварювальних робіт та доставки виробів до місця зварювання та назад, але не менше 0,8 м.

Площа окремого приміщення для електрозварювальних установок має бути не менше 10 м<sup>2</sup>, причому площа, вільна від обладнання та матеріалів, має бути не менше 3 м<sup>2</sup> для кожного зварювального поста. Стіни kabіни мають бути заввишки 2 м, зазор між стінкою і підлогою – 50 мм, ця щілина має бути огорожена сіткою з негорючого матеріалу з розміром чарунок не більше 1,0 мм x 1,0 мм, а під час зварювання у середовищі захисних газів – 300 мм.

7.5.5 Проходи між однопостовими джерелами зварювального струму, перетворювальними установками зварювання (різання, наплавлення) мають бути шириною не менше 0,8 м, між багатопостовими – не менше 1,5 м, відстань від одного та багатопостових джерел зварювального струму до стіни має бути не менше 0,5 м.

Проходи між групами зварювальних трансформаторів повинні мати ширину не менше 1 м. Відстань між зварювальними трансформаторами, які стоять в одній групі, має бути не менше 0,1 м, між зварювальним трансформатором та ацетиленовим генератором – не менше 3 м.

Забороняється встановлення зварювального трансформатора над регулятором струму. Регулятор зварювального струму може розміщуватись поряд із зварювальним трансформатором або над ним.

Приєднання зварювальних установок до електричної мережі провадиться тільки через комутаційні апарати.

Забороняється безпосереднє живлення зварювальної дуги від силової, освітлювальної та контактної мереж.

Схема приєднання декількох джерел зварювального струму під час роботи на одну зварювальну дугу має унеможливити виникнення між виробами та електродом напруги, що перевищує найбільшу напругу холостого ходу одного із джерел зварювального струму.

7.5.6 Напруга холостого ходу джерел струму для дугового зварювання в разі нормальної напруги мережі не повинна перевищувати:

– 80 В ефективного значення – для джерел змінного струму ручного дугового та напіваавтоматичного зварювання;

– 140 В ефективного значення – для джерел змінного струму автоматичного зварювання;

– 100 В середнього значення – для джерел постійного струму.

7.5.7 Одно- та багатопостові зварювальні установки повинні бути захищені запобіжниками чи автоматичними вимикачами з боку живильної мережі. Установки для ручного зварювання повинні бути оснащені показчиком значення зварювального струму (амперметром або шкалою на регуляторі струму). Багатопостові зварювальні агрегати крім захисту з боку живильної мережі повинні також мати і автоматичний вимикач чи контактор (для підключення джерела струму до розподільчої цехової мережі) у загальному проводі зварювального кола та запобіжника на кожному проводі до зварювального поста.

7.5.8 Для запобігання займанню електропроводів та зварювального обладнання слід правильно добирати переріз кабелів за значенням струму, ізоляцію кабелів за робочою напругою та плавкі вставки запобіжників за гранично допустимим струмом.

Приєднання до мережі живлення та відключення від неї зварювальних установок повинні виконувати електротехнічні працівники підприємства, які експлуатують цю електромережу.

Пересувні джерела зварювального струму на час їх пересування мають бути відключені від мережі.



7.5.9 Електрозварювальну установку на весь час роботи слід заземлити мідним проводом перерізом не менше 6 мм<sup>2</sup> або сталевим прутом (смужкою) перерізом не менше 12 мм<sup>2</sup>. Заземлення здійснюється через спеціальний болт, що має бути на корпусі установки.

Крім заземлення основного електрозварювального обладнання у зварювальних установках слід безпосередньо заземлювати той затискач вторинної обмотки зварювального трансформатора, до якого приєднується провідник, що йде до виробу (зворотний провід).

Забороняється використання нульового робочого чи фазного проводу двожильного живильного кабелю для заземлення зварювального трансформатора.

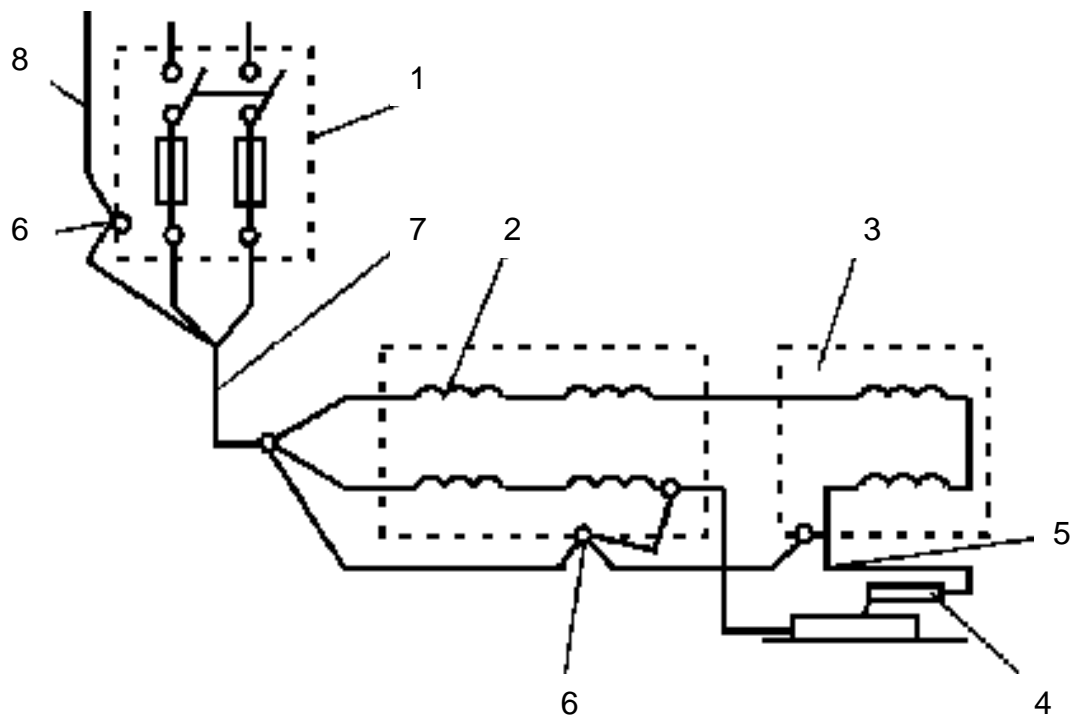
Заземлення електрозварювальних установок слід виконувати до їх підключення до мережі і зберігати до відключення від мережі.

7.5.10 Для живлення однофазного зварювального трансформатора слід застосовувати трижильний гнучкий шланговий кабель, третю жилу якого слід приєднати до заземлювального болта корпусу зварювального трансформатора та до заземлювальної шини пункту живлення.

Для живлення трифазного трансформатора слід застосовувати чотирьохжильний кабель, четверта жила якого використовується для заземлення.

Заземлювальну шину пункту живлення слід з'єднати з нульовим захисним проводом живильної лінії в установках з глухозаземленою нейтраллю або заземлювачем в установках з ізольованою нейтраллю.

Затискач (полюс) зварювального трансформатора повинен бути приєднаний до деталі, що зварюється, за допомогою заземлювального проводу заземлювальним болтом на корпусі зварювального трансформатора згідно з рисунком 7.1.



1 – пункт живлення; 2 – зварювальний трансформатор; 3 – регулятор; 4 – електродотримач; 5 – шланговий одножильний провід; 6 – заземлювальний болт; 7 – живильний шланговий трижильний кабель із заземлювальною жилою; 8 – нульовий провід мережі.

Рис. 7.1. – Схема підключення зварювального трансформатора

7.5.11 Зварювальні кабелі слід з'єднувати опресовуванням, зварюванням або паянням.

Підключення кабелю до зварювального обладнання слід здійснювати опресованими чи припаяними кабельними наконечниками.

Довжина первинного кола між пунктом живлення і пересувною зварювальною установкою має бути не більше 10 м.

Як зворотний провід, який з'єднує вироби, що зварюються, з джерелом зварювального струму, можуть використовуватися сталеві, алюмінієві або мідні шини будь-якого профілю, зварювальні плити, стелажі та сама зварювальна конструкція (металоконструкції та знепарені і зневоднені трубопроводи в межах котлів і турбін,

на яких провадять зварювальні роботи) за умови, що їх переріз забезпечує безпечне (за умов нагрівання) протікання зварювального струму.

З'єднання окремих елементів, які застосовуються як зворотний провід, слід виконувати болтами, струбцинами або затискачами.

Забороняється використовувати як зворотний провід внутрішні залізничні рельси, мережі заземлення чи занулення, а також проводи та шини первинної комутації розподільчих пристроїв, металеві конструкції будівель, комунікацій та технологічне обладнання.

Зварювання слід проводити із застосуванням двох проводів.

Використання заземлювальних провідників розподільчих пристроїв як зворотного проводу для зварювальних установок може призвести до відгалужування струму на металеві оболонки розташованих поблизу контрольних кабелів, їх пошкодження та помилкової роботи релейного захисту. Помилкова робота релейного захисту може бути спричинена також появою різниці потенціалів між заземленими точками кіл релейного захисту під час роботи зварювальних установок.

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		108

## Висновки

На основі проведених розрахунків прийняті такі рішення:

Знайдені електричні навантаження будівельно-монтажного підприємство. Повна середня потужність заводу складає  $S_{\text{ср}} = 324,56$  кВА, а повна розрахункова потужність  $S_p = 307,8$  кВА. На підприємстві доцільно встановити дві однострансформаторних підстанцій типу ТМН 250/10 і ТМН 160/10 із напругою низької сторони трансформаторів 0,4 кВ.

Для внутрішньої мережі вибрано броньовані кабелі з паперовою ізоляцією в алюмінієвій оболонці типу ААБ. На основі виконано розрахунок кабелів: від ЦРП до всіх ТП: ААБ - 3х25 - 10 кВ. Ввідний ПЛ на підприємство – 10кВ - АС 3х35. Визначено координати центру мережі  $x_0 = 77,75$ ,  $y_0 = 27,75$ ).

Також було розглянуто економічну частину дипломної роботи і охорону праці.

Таким чином за допомогою засобів інформаційного та програмного забезпечення було виконано проектування з системи електропостачання.

При виконанні дипломної роботи було дотримано вимоги ПУЕ, ПТЕ та інших нормативних документів щодо надійності та якості електропостачання.

Виконання даної роботи надало можливість закріпити та застосувати в практиці теоретичні знання отримані під час навчання.

					МП.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		109

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		110

## Література

- 1 Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування. – Суми : ВТД „Університетська книга”, 2006. – 153 с.
- 2 Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. «Электроснабжение промышленных предприятий»: Учебник для студентов ВУЗов – Москва: изд. Высшая школа, 1986 – 400с.
- 3 Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: проектирование и расчет /А. С. Овчаренко и др. – Киев: Техніка, 1985. – 185 с.
- 4 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / под ред. А. А. Федорова. – М. : Энергоатомиздат, 1987.– Т.1 – 580 с., Т.2 – 591 с.
- 5 Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Г. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
- 6 ДБН В.2.5-28-2006 Естественное и искусственное освещение
- 7 Федоров А.А., Сербинский Г.В. «Справочник по электроснабжению промышленных предприятий»: – Москва: Энергия, 1974 – 528с.
- 8 Федоров А.А., Старкова Л.Е. «Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий»: Учебное пособие для ВУЗов – Москва: Энергоатомиздат, 1987 – 368с.
- 9 Барыбин Ю.Г., «Справочник по проектированию электрических сетей и оборудования» – Москва: Энергоатомиздат, 1990 – 576с.
- 10 Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.
- 11 ГОСТ 28249-89. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.
- 12 Мельников М. А., «Внутризаводское электроснабжение»: Учебное пособие. – Томск: изд. ТПУ, 2004 – 180с.
- 13 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий (РТМ 36.18.32.6-92) // Инструктивные и информационные материалы по проектированию

					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		111

ванію електроустановок. – М.: Тяжпромэлектропроект. – 1993. – №2. – С. 22-53.

14 ДНАОП 0.00–1.21–98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

15 Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. – М.: Энергия, 1976 –257 с.

16 Охрана труда в электроустановках / под ред. Б. А. Князевского. – М.: Энергия. – 1970.

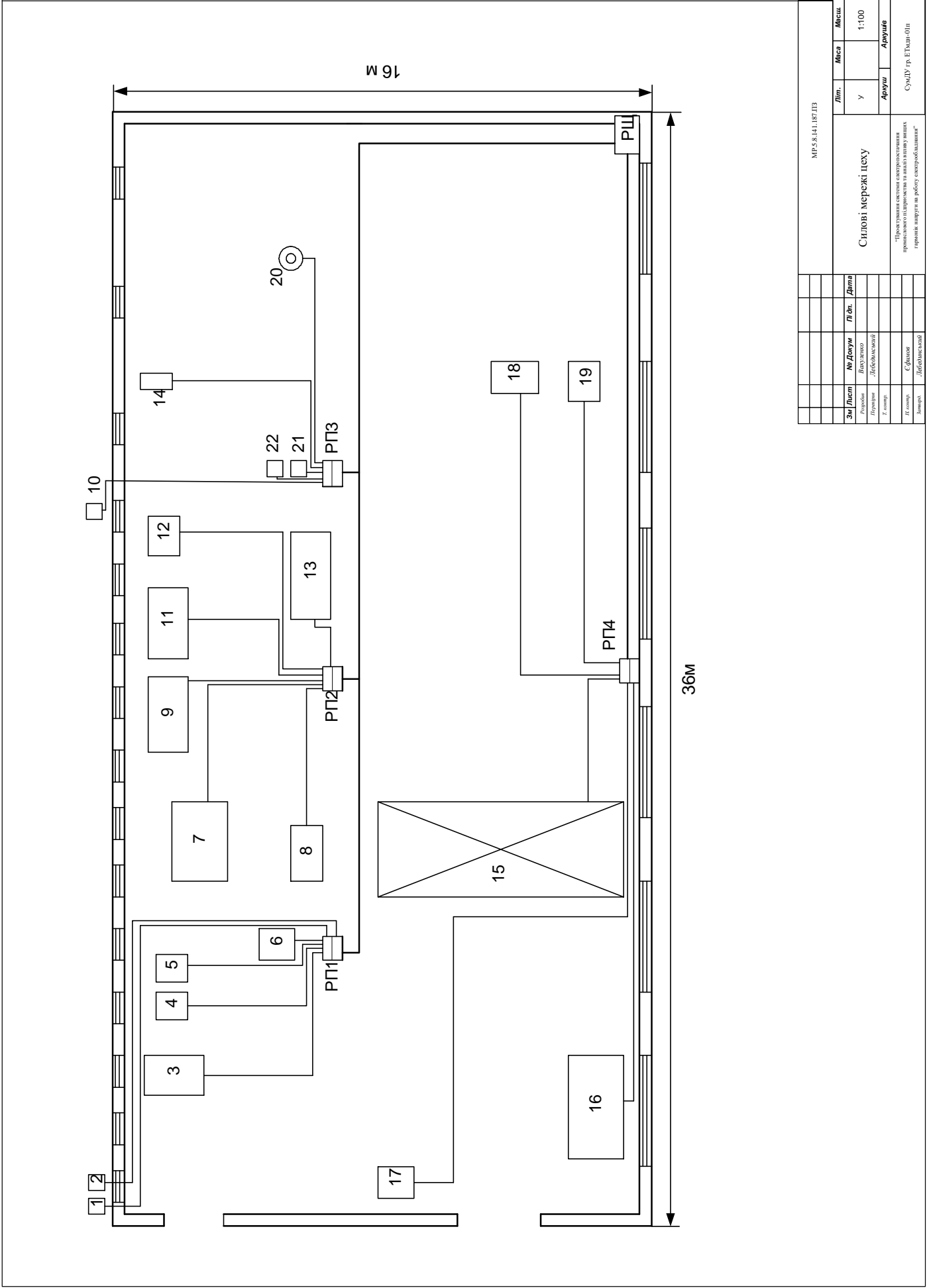
17 Економічні розрахунки в інженерній діяльності (на прикладах задач електроенергетики / М. М. Черемісін, В. І. Романченко. – Харків: Факт, 2006. – 168 с.

18 Правила улаштування електроустановок. – 5 – те вид., переробл. й доповн. – Х.: Видавництво «Форт», 2014. – 800 с.

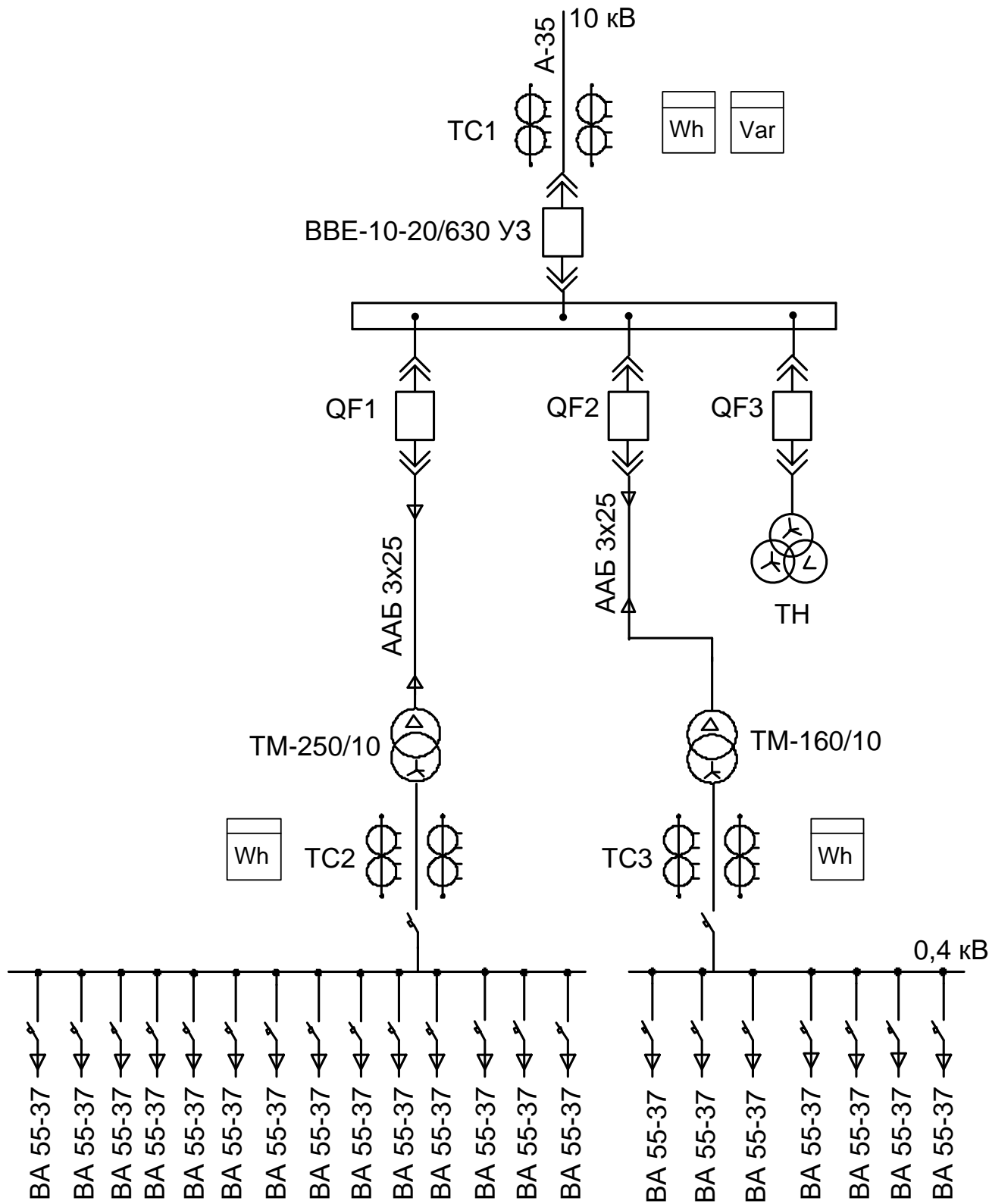
					MP.5.8.141.187.ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		112







МР.5.8.1.187.П3		Лист	Маса	Масш.
		У		1:100
		Архив	Архив	Архив
		Суду гр. ЕУХІД-010		
Силові мережі цеху				
"Проектна організація електропостачання промислового підприємства та аналіз варту інших проектів напруги на роботу електрообладнання"				
Зм.	Лист	№ Діаграми	Підп.	Дата
	Розробка	Виконав		
	Перевірив	Лександрівський		
	З.с.м.м.			
	Н.с.м.м.	С.В.М.м.		
	Замовч.	Лександрівський		



MP.5.8.141.187.ПЗ

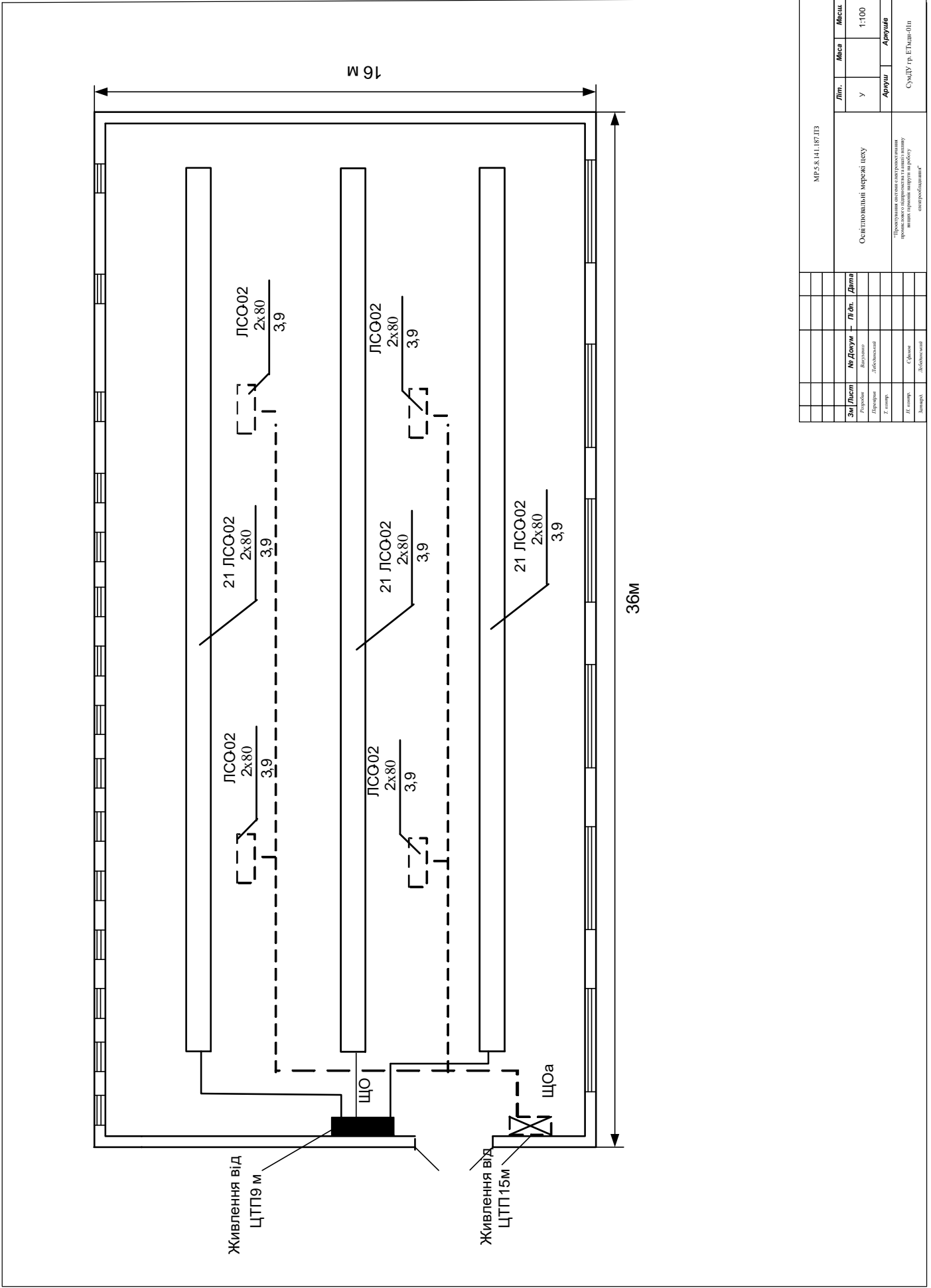
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив	Вакулєнко			
Перевірів	Лебєдинський			
Т. контр.				
Н. контр.	Єфимов			
Затверд.	Лебєдинський			

Однолінійна схема електропостачання

Літ.	Маса	Масштаб
у		
Аркуш -	Аркушіє -	

"Проектвання системи електропостачання промислового підприємства та аналіз впливу вищих гармонік напруги на роботу електрообладнання"

СумДУ гр. ЕТмдн-01п



		№РЗ.8.141.187.113		Літ.	Мес.	Мес.
		Освітлювальні мережі псу		У		1:100
		"Прокрутити електрику по периметру приміщення в межах стіни приміщення на роботу електрообладнання"		Архив	Архив	Архив
		СудДУ гр. ЕГХм-010				
Зм	Лист	№ докум.	Лист	Дата		
	Розробка	Виконав				
	Перевірив	Добірив				
	Т. номер	Сторінка				
	Д. номер	Знаряд				

