

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Забезпечення надійності системи електропостачання текстильного
комбінату**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕТм-61
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Іваніга О.Й.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Белякова І.В.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Мовчан Л.Т.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Тарасенко М. Г.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« __ » _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Іваніги Олександра Йосиповича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Забезпечення надійності системи електропостачання текстильного комбінату

Керівник роботи Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » листопада 2023 року № 4/7-1040

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи Відомості про електричні навантаження

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Генплан текстильного комбінату 1л. ф – А1

2. Генплан цеху 1л. ф – А1

3. Картограма навантажень і ЦЕН 1л. ф – А1

4. Генплан заводу з картограмою електричних навантажень і розташуванням ГПП 1л. ф – А1

5. Схема внутрішньозаводської розподільчої мережі 1л. ф – А1

6. Однолінійна розрахункова схема мережі 1л. ф – А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Розрахунково-дослідницький розділ		
4	Проектно-конструкторський розділ		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент _____
(підпис)

Іваніга О.Й.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Белякова І.В.
_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Іваніга О.Й. Забезпечення надійності системи електропостачання текстильного комбінату. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. ТНТУ імені Івана Пулюя. ФПТ. Кафедра ЕІ, група ЕТм-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2023.

Стор. – 74; рис. – 7; табл. – 20; креслень - ; джерел - 14; додатків - 0.

Визначено розрахункові навантаження текстильного комбінату. Побудована картограма електричних навантажень, а також визначено центр електричних навантажень та місце розташування головної понижаючої підстанції. Проведено вибір числа та потужності трансформаторів цехових підстанцій напругою 10/0,4 кВ. Проведено розрахунок втрат потужності в силових трансформаторах. Проведено розрахунок компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехових ТП. Прийнято напругу лінії живлення ГПП 110 кВ. Вибрано два силових трансформатори типу *ТДН* – 16000/110 для установки на ГПП. Прийнято переріз ліній живлення 70 мм^2 . Запропонована схема внутрішньозаводської розподільчої мережі. Проведено розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1000 В. Проведено вибір високовольтного обладнання.

Ключові слова: надійність, система електропостачання, текстильний комбінат.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1. Об'єкт та методи дослідження	9
1.2. Характеристика середовища виробничих приміщень текстильного комбінату. Категорії електроприймачів з безперебійності електропостачання.....	15
1.3 Забезпечення надійності системи електропостачання текстильного комбінату.....	17
1.4 Резервне живлення промислових підприємств.....	18
1.5 Постановка задач.....	19
2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	20
2.1 Визначення розрахункового електричного навантаження столярного цеху текстильного комбінату.....	20
2.2 Визначення розрахункового навантаження текстильного комбінату.....	25
2.3 Картограма електричних навантажень. Визначення ЦЕН.....	29
2.4 Вибір числа та потужності трансформаторів цехових підстанцій (ЦТП).....	33
2.4.1 Вибір числа та потужності трансформаторів цехових ТП напругою 10/0,4 кВ.....	33
2.4.2 Розрахунок втрат потужності в силових трансформаторах....	37
2.5 Компенсація реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехових ТП та уточнення їх навантаження.....	41
2.6 Система зовнішнього електропостачання.....	43
2.7 Схема внутрішньозаводського розподілу мережі 10 кВ.....	46
2.8 Висновки до розділу.....	51

3. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	52
3.1 Розрахунок струмів КЗ у мережі вище 1000 В.....	52
3.2 Вибір високовольтного обладнання.....	58
3.3 Висновки до розділу.....	65
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	66
4.1 Основні причини виробничих травм та професійних захворювань...	66
4.2. Розподіл травм за ступенем тяжкості.....	67
4.3 Дія електричного струму на персонал, що експлуатує об'єкти енергетики. Перша допомога при електротравмах.....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73

ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення надійності системи електропостачання текстильного комбінату - це критичний аспект для безперебійної роботи обладнання і виробничих процесів. Ось деякі ключові кроки для забезпечення цієї надійності:

- Резервне живлення: встановлення резервних джерел живлення, таких як дизельні генератори або акумуляторні системи, для запобігання перерв у подачі електроенергії у разі аварій або відключень;

- Системи регуляції напруги: використання систем автоматичного регулювання напруги для підтримання стабільності напруги у системі, що допомагає уникнути пошкоджень обладнання через напругові спади або підвищення;

- Моніторинг та планування обслуговування: постійний моніторинг стану обладнання та проведення планового технічного обслуговування, щоб уникнути можливих поломок;

- Заходи проти перенапруг: встановлення захисних пристроїв, таких як розрядники, для захисту від перенапруг, що можуть виникнути через блискавку або інші зовнішні фактори;

- Тренування персоналу та планування дій у надзвичайних ситуаціях: навчання персоналу ефективним заходам під час аварійних ситуацій та розроблення плану дій для швидкого відновлення роботи системи у разі виникнення проблем;

- Оновлення і модернізація обладнання: постійне оновлення системи електропостачання, щоб вона відповідала сучасним стандартам та технологіям, що сприяє зниженню ризиків аварій та підвищенню її надійності;

- Резервні запаси та запасні частини: збереження достатнього запасу необхідних матеріалів та запасних частин для швидкого усунення неполадок та відновлення роботи системи у найкоротший термін.

Тому, задача забезпечення надійності СЕП текстильного комбінату є актуальною [1].

Мета і завдання роботи Метою кваліфікаційної роботи магістра є забезпечення надійності СЕП текстильного комбінату.

Завдання:

1. Визначити розрахункові навантаження текстильного комбінату за розрахунковими активними та реактивними навантаженнями цехів з урахуванням розрахункового навантаження освітлення цехів та території підприємства.

2. Побудувати картограму електричних навантажень з метою визначення місця розташування ГПП біля текстильного комбінату.

3. Розрахувати схему внутрішньозаводського електропостачання. Вибрати число та потужності цехових трансформаторних підстанцій, а також розрахувати втрати в цехових ТП.

4. Розрахувати компенсацію реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехових ТП.

5. Розробити схему зовнішнього електропостачання. Провести вибір напруги живлення заводу мережі, перерізу проводів, вибір потужності трансформаторів ГПП. Розрахунки провести з урахуванням надійності електропостачання, тобто лінія живлення – двоколова, ГПП є двотрансформаторною підстанцією.

6. Розрахувати струми короткого замикання в мережі вище 1000 В для перевірки правильності вибору перерізів провідників і вибору пристроїв захисту цехових ТП.

Об'єкт дослідження – процеси забезпечення надійності СЕП текстильного комбінату.

Предмет дослідження – розробка заходів підвищення надійності роботи СЕП текстильного комбінату.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримало подальший розвиток застосування технічних заходів для забезпечення надійності СЕП текстильного комбінату.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані технічні заходи дають змогу забезпечити надійність роботи електричного обладнання текстильного комбінату.

Апробація результатів. Результати досліджень Іваніги Олександра Йосиповича за темою кваліфікаційної роботи «Забезпечення надійності системи електропостачання текстильного комбінату» були представлені на XII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” (6-7 грудня 2023 року), м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (14 найменувань).

Загальний обсяг текстової частини - 74 сторінок, 20 таблиць, 7 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Об'єкт та методи дослідження

Вихідними даними є генплан текстильного комбінату (рисунок 1.1), відомості про електричні навантаження текстильного комбінату (таблиця 1.1), генплан столярного цеху та відомості про електричні навантаження столярного цеху (рис. 1.2, таблиця 1.2).

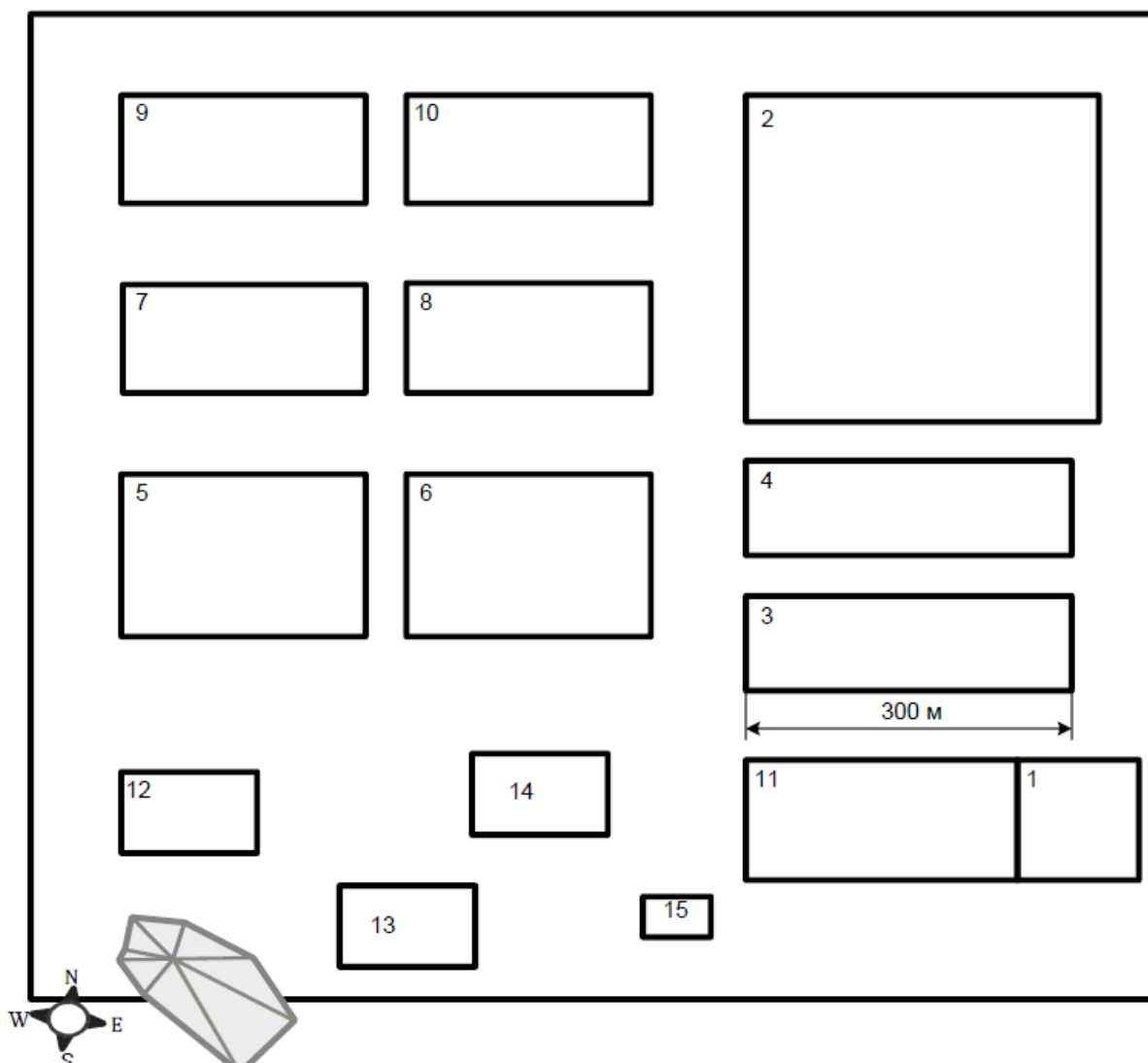


Рисунок 1.1 – Генплан текстильного комбінату.

Таблиця 1.1 - Відомості про електричні навантаження.

№ п/п	Назва цеху	Встановлена потужність цеху, кВт
1.	Адміністративний корпус	700,0
2.	Холодний склад	250,0
3.	Швейна фабрика	1390,0
4.	Ткацький	800,0
5.	Сушильний	980,0
6.	Покрасочний	850,0
7.	Інструментальний	2500,
8.	Ремонтно-механічний	1300,0
9.	Столярний	-
10.	Прядильний	1100,0
11.	Гараж	100,0
12.	Котельня	800,0
13.	Насосна 0,38 кВ 10 кВ	120 (АТ) 1260 (ЦД)
14.	Лабораторія	300,0
15.	Склад	125,0

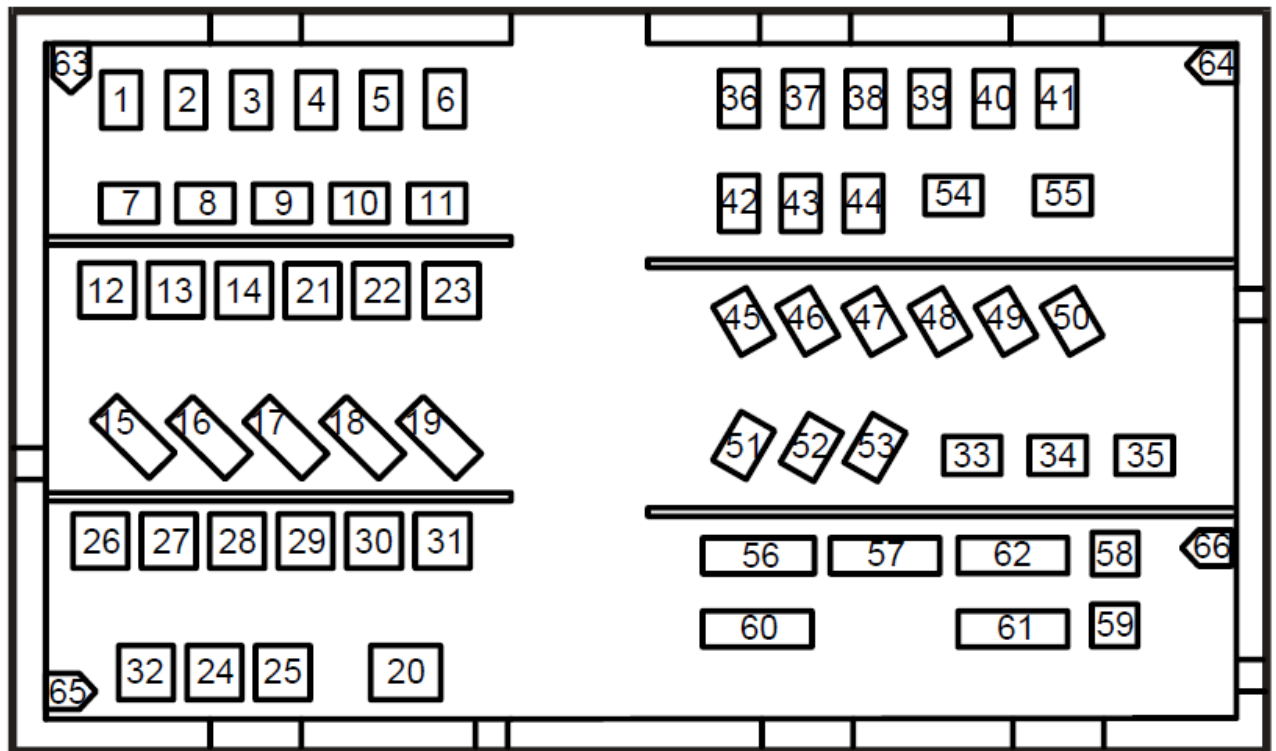


Рисунок 1.2 – Генплан столярного цеху.

Таблиця 1.2 - Відомості про електричні навантаження столярного цеху.

№ п/п	Назва електроприймача	Тип	Кількість, шт	Встановлена потужність ЕП, $P_{вст}, кВт$
Ділянка первинної машинної обробки масивної деревини				
Потік переробки хвойних матеріалів				
1.	Верстат торцювальний	ЦПА-40	1,0	1,2
2.	Верстат однопильний круглопильний	Ц-6	1,0	12,0
3.	Шипорізний верстат	ШС-1	1,0	23.1
4.	Прес торцевого тиску	ПС-3М	1,0	11.64
5.	Верстат фрезерний	Ф-130	1,0	22.5
6.	Чотиристоронній стругальний верстат	GS-523	1,0	46.5

Продовження таблиці 1.2

Потік переробки пиломатеріалів листяних порід				
7.	Верстат торцювальний	ЦМЕ-ЗБ	1,0	12,0
8-9.	Верстат однопильний круглопильний	Ц-6	2,0	12,0
10.	Верстат фугувальний	СФ4-1А	1,0	12,0
11.	Чотиристоронній стругальний верстат	GS-623U	1,0	61.8
Пресова ділянка, проміжна машинна обробка				
12-		МУ-4500-		
13.	Вайма віялова	6В	2,0	13.2
14.	Форматно-обрізний верстат	-	1,0	15,0
15-				
17.	Верстат фугувальний	СФ4-1А	3,0	12,0
18-				
19.	Верстат рейсмусовий	S 630	2,0	22.5
20.	Прес гідравлічний гарячого затвердіння	NPS6/120	1,0	81,0
21-	Верстат однопильний			
22.	круглопильний	Ц-6	2,0	12,0
23.	Верстат фрезерний	Ф-130	1,0	22.5
Ділянка обробки царг				
24.	Обробний центр	Rovez 24	1,0	62.7
25.	Фрезерний верстат	Ф-4	1,0	12,0
Ділянка обробки ніжок				
26-				
27.	Токарний напівавтомат	С1-1500	2,0	31.5

Продовження таблиці 1.2

28-	Стрічково-шліфувальний			
29.	напівавтомат	Prisma	2,0	18,0
30-				
31.	Токарний верстат ручний	-	2,0	25.5
32.	Фрезерний верстат для декорування ніжок	-	1,0	12,0
Ділянка розкрою листових та плитних матеріалів				
33.	Форматно розкроювальний верстат	Robland	1,0	13,65
34.	Форматно розкроювальний верстат	Formula S35	1,0	18.75
35.	Круглопилльний ламельний верстат	MJ153	1,0	18.75
Акcesуари				
36.	Фугувальний верстат	CF4-1A	1,0	12,0
37.	Рейсмусовий верстат	CP6-9	1,0	28.8
38.	Універсальний верстат (фрезерний, круглопилльний)	-	1,0	15,0
39.	Верстат фрезерний з шипорізною кареткою	ФСШ	1,0	16.5
40.	Верстат круглопилльний однопильний	Ц-6	1,0	12,0
41.	Калібрувально-шліфувальний верстат	-	1,0	24,0
42.	Стрічково-шліфувальний напівавтомат	-	1,0	18,0

Продовження таблиці 1.2

43.	Стрічково-шліфувальний верстат	ШлПС	1,0	12,0
44.	Токарний верстат	-	1,0	12,0
Ділянка виготовлення бортів				
45.	Верстат свердлильно-присадковий восьмишпинд.		1,0	18,0
46.	Верстат фрезерний	-	1,0	18,0
47- 49.	Колібрувально-шліфувальний верстат	SR-P400	3,0	27,0
50- 51.	Верстат стрічково-шліфувальний	ШлПС	2,0	12,0
52.	Верстат для усового торцювання		1,0	21,0
53.	Верстат фугувальний	СФ4-1А	1,0	12,0
Ділянка розкрою гофрокартону				
54- 55.	Верстат однопильний круглопильний	Ц-6	2,0	12,0
Складальна ділянка				
56.	Верстат кромкооблицювальний		1,0	24,0
57.	Верстат фугувальний	Elektra beckum	1,0	9,0
Відділення наклеювання пластику на борти				
58.	Постфоринг	-	1,0	9,0
59.	Верстат круглопильний	-	1,0	12,0
Оздоблювальна ділянка				
60- 61.	Кабіна розпилювальна	MP9240E	2,0	18,0
62.	Кабіна розпилювальна	MP9230E	1,0	15,6
63- 66.	Вентилятор		4,0	12,0

1.2. Характеристика середовища виробничих приміщень текстильного комбінату. Категорії електроприймачів з безперебійності електропостачання.

Загалом завод складається з 15 виробничих приміщень, до яких належать виробничі та допоміжні цехи, а також заводоуправління.

Процес виробництва текстильного комбінату характеризується нормальними умовами, проте є відділення цехів текстильного комбінату які відносимо до жарких та вологих приміщень, а також до приміщень з хімічно активним середовищем.

Перерва в електропостачанні електричних приймачів текстильного комбінату електротехнічної промисловості може призвести до масового недовідпуску продукції та простою людей, тому їх відносимо до II категорії. Інші споживачі відносимо до III категорії [2, 3, 4, 5].

Таблиця 1.3 - Характеристика зовнішнього середовища виробничих приміщень та категорії електроприймачів за ступенем безперервності.

№	Назва цеху	Характеристика середовища	Категорія електропостачання	Встановлена потужність цеху, кВт
1.	Адміністративний корпус	нормальне	III	700,0
2.	Холодний склад	нормальне	III	250,0
3.	Швейна фабрика	нормальне	III	1390,0
4.	Ткацький	нормальне	III	800,0
5.	Сушильний	жарке	III	980,0
6.	Покрасочний	сире	II	850,0
7.	Інструментальний	нормальне	III	2500,0
8.	Ремонтно-механічний	нормальне	III	1300,0
9.	Столярний	нормальне	III	-
10.	Прядильний	нормальне	III	1100,0
11.	Гараж	нормальне	II	100,0
12.	Котельня	жарке	II	800,0
13.	Насосна	сире	II	120,0 (АТ) 1260,0 (ЦД)
14.	Лабораторія	нормальне	III	300,0
15.	Склад	нормальне	III	125,0

Як видно з таблиці 1.3, у аналізованому столярному цеху під номером 9 на генплані середовище нормальне і більшість електроприймачів належать до III категорії з надійності електропостачання.

1.3 Забезпечення надійності системи електропостачання текстильного комбінату

Забезпечення надійності системи електропостачання текстильного комбінату - це критичний аспект для безперебійної роботи обладнання і виробничих процесів. Ось деякі ключові кроки для забезпечення цієї надійності [2, 3, 4, 5]:

- Резервне живлення: встановлення резервних джерел живлення, таких як дизельні генератори або акумуляторні системи, для запобігання перерв у подачі електроенергії у разі аварій або відключень;

- Системи регуляції напруги: використання систем автоматичного регулювання напруги для підтримання стабільності напруги у системі, що допомагає уникнути пошкоджень обладнання через напругові спади або підвищення;

- Моніторинг та планування обслуговування: постійний моніторинг стану обладнання та проведення планового технічного обслуговування, щоб уникнути можливих поломок;

- Заходи проти перенапруг: встановлення захисних пристроїв, таких як розрядники, для захисту від перенапруг, що можуть виникнути через блискавку або інші зовнішні фактори;

- Тренування персоналу та планування дій у надзвичайних ситуаціях: навчання персоналу ефективним заходам під час аварійних ситуацій та розроблення плану дій для швидкого відновлення роботи системи у разі виникнення проблем;

- Оновлення і модернізація обладнання: постійне оновлення системи електропостачання, щоб вона відповідала сучасним стандартам та технологіям, що сприяє зниженню ризиків аварій та підвищенню її надійності;

- Резервні запаси та запасні частини: збереження достатнього запасу необхідних матеріалів та запасних частин для швидкого усунення неполадок та відновлення роботи системи у найкоротший термін.

1.4 Резервне живлення промислових підприємств

Резервне живлення для промислових підприємств - це важлива складова безперебійності виробництва. Це може включати в себе декілька аспектів:

- **Додаткове живлення:** Забезпечення резервного джерела енергії через дизельні генератори або альтернативні джерела енергії для збереження виробництва під час перебоїв у постачанні основної енергії [6].
- **Системи автоматичного перемикачання:** Використання автоматичних систем перемикачання для швидкого переходу на резервне живлення в разі відмови основного джерела.
- **Резервне обладнання:** Матеріали, запасні частини та обладнання, які можна використовувати в разі відмови основного обладнання.
- **Плани надзвичайних ситуацій:** Розробка планів дій в разі виникнення непередбачуваних обставин, таких як аварії, припинення постачання енергії або інші негативні сценарії.
- **Регулярні тести і обслуговування:** Проведення періодичних тестів резервних систем для переконання у їхній готовності до використання.

Забезпечення резервного живлення дозволяє підприємствам зберігати продуктивність навіть у випадках, коли виникають проблеми з основними джерелами енергії або обладнанням.

1.5 Постановка задач

1. Визначити розрахункові навантаження текстильного комбінату за розрахунковими активними та реактивними навантаженнями цехів з урахуванням розрахункового навантаження освітлення цехів та території підприємства.

2. Побудувати картограму електричних навантажень з метою визначення місця розташування ГПП біля текстильного комбінату.

3. Розрахувати схему внутрішньозаводського електропостачання. Вибрати число та потужності цехових трансформаторних підстанцій, а також розрахувати втрати в цехових ТП.

4. Розрахувати компенсацію реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехових ТП.

5. Розробити схему зовнішнього електропостачання. Провести вибір напруги живлення заводу мережі, перерізу проводів, вибір потужності трансформаторів ГПП. Розрахунки провести з урахуванням надійності електропостачання, тобто лінія живлення – двоколова, ГПП є двотрансформаторною підстанцією.

6. Розрахувати струми короткого замикання в мережі вище 1000 В для перевірки правильності вибору перерізів провідників і вибору пристроїв захисту цехових ТП.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення розрахункового електричного навантаження столярного цеху текстильного комбінату

Всі електричні приймачі розділимо на дві групи:

- Група А – електроприймачі з змінним графіком навантаження $K_g < 0,6$;
- Група Б – електроприймачі з практично постійним графіком навантаження $K_g \geq 0,6$.

В таблиці 2.1 наведено довідникові дані для електроприймачів столярного цеху текстильного комбінату.

Таблиця 2.1 - Довідкові дані для електроприймачів столярного цеху текстильного комбінату.

№ п\п	Найменування електроприймачів	K_g	$\cos \varphi$	P_n , кВт
1.	Верстат торцювальний	0,14	0,6	16,2
2.	Верстат однопильний круглопильний	0,14	0,6	12,0
3.	Шипорізний верстат	0,14	0,6	23,1
4.	Прес торцевого тиску	0,25	0,65	11,64
5.	Верстат фрезерний	0,14	0,6	22,5
6.	Чотиристоронній стругальний верстат	0,3	0,6	46,5
7.	Верстат торцювальний	0,14	0,6	12,0
8-9.	Верстат однопильний круглопильний	0,14	0,6	12,0
10.	Верстат фугувальний	0,14	0,6	12,0
11.	Чотиристоронній стругальний верстат	0,3	0,6	61,8
12-13.	Вайма віялова	0,65	0,8	13,2
14.	Форматно-обрізний верстат	0,14	0,6	15,0
15-17.	Верстат фугувальний	0,14	0,6	12,0

Продовження таблиці 2.1.

18-19.	Верстат рейсмусовий	0,14	0,6	22,5
20.	Прес гідравлічний гарячого затвердіння	0,25	0,65	81,0
21-22.	Верстат однопильний круглопильний	0,14	0,6	12,0
23.	Верстат фрезерний	0,14	0,6	22,5
24.	Обробний центр			62,7
25.	Фрезерний верстат	0,14	0,6	12,0
26-27.	Токарний напіваавтомат	0,14	0,6	31,5
28-29.	Стрічково-шліфувальний напіваавтомат	0,14	0,6	18,0
30-31.	Токарний верстат ручний	0,14	0,6	25,5
32.	Фрезерний верстат для декорування ніжок	0,14	0,6	12,0
33.	Форматно розкроювальний верстат	0,14	0,6	13,65
34.	Форматно розкроювальний верстат	0,14	0,6	18,75
35.	Круглопильний ламельний верстат	0,14	0,6	18,75
36.	Фугувальний верстат	0,14	0,6	12,0
37.	Рейсмусовий верстат	0,14	0,6	28,8
38.	Універсальний верстат (фрезерний, круглопильний)	0,14	0,6	15,0
39.	Верстат фрезерний з шипорізною кареткою	0,14	0,6	16,5
40.	Верстат круглопильний однопильний	0,14	0,6	12,0
41.	Колібровально-шліфувальний верстат	0,14	0,6	24,0
42.	Стрічково-шліфувальний напіваавтомат	0,14	0,6	18,0
43.	Стрічково-шліфувальний верстат	0,14	0,6	12,0
44.	Токарний верстат	0,14	0,6	12,0
45.	Верстат свердлильно-присадковий восьмишпінд.	0,14	0,6	18,0
46.	Верстат фрезерний	0,14	0,6	18,0
47-49.	Колібровально-шліфувальний верстат	0,14	0,6	27,0
50-51.	Верстат стрічково-шліфувальний	0,14	0,6	12,0
52.	Верстат для торцювання	0,14	0,6	21,0

Продовження таблиці 2.1.

53.	Верстат фугувальний	0,14	0,6	12,0
54-55.	Верстат однопильний круглопильний	0,14	0,6	12,0
56.	Верстат кромкооблицювальний	0,14	0,6	24,0
57.	Верстат фугувальний	0,14	0,6	9,0
58.	Постфоринг	0,75	0,95	9,0
59.	Верстат круглопильний	0,14	0,6	12,0
60-61.	Кабіна розпилювальна	0,65	0,8	18,0
62.	Кабіна розпилювальна	0,65	0,8	15,6
63-66.	Вентилятор	0,7	0,8	12,0

Повне розрахункове навантаження цеху з врахуванням освітлення визначається за формулою:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o.})^2 + Q_p^2}.$$

Розрахунковий струм визначається за формулою:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}.$$

Для групи А:

$$m > 3;$$

$$k_g < 0,2.$$

Ефективне число електроприймачів визначається за допомогою кривих чи таблиці.

Тоді

$$n_e = 31.$$

$$F_u = 100 \cdot 48 = 4800 \text{ м}^2;$$

$$k_{c.o.} = 0,85;$$

$$P_{y.d.o.} = 0,015 \text{ кВт} / \text{м}^2;$$

$$P_{ном.о.} = P_{уд.о.} \cdot F_{ц} = 0,015 \cdot 4800 = 72 \text{ кВт};$$

$$P_{р.о.} = P_{ном.о.} \cdot k_{с.о.} = 72 \cdot 0,85 = 61,2 \text{ кВт};$$

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{р.о.})^2 + Q_p^2} = \sqrt{(375,62 + 31,2)^2 + 318,95^2} = 540,8 \text{ кВА};$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{540,8}{\sqrt{3} \cdot 380} = 822,7 \text{ А.}$$

Розрахунки показуємо в таблиці 2.2.

№ ЕП	Найменування вузлів живлення та груп електроприймачів	Кількість ЕП	Встановлена потужність, приведена до ПВ=100%		$m = P_{\text{нmax}} / P_{\text{нmin}}$	Коефіцієнт використання K_B	$\cos \varphi$	Середнє навантаження за максимально завантаженою зміну		Ефективна кількість електроприймачів ЕП	Коефіцієнт максимуму K_M	Максимальне навантаження		
			Одного ЕП $P_{\text{н}}$, кВт	Загальна $P_{\text{н}}$, кВт				$P_{\text{см}} = K_B \cdot P_{\text{н}}$, кВт	$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg} \varphi$, кВар			$P_M = K_M \cdot P_{\text{см}}$, кВт	$Q_M = 1,1 \cdot Q_{\text{см}}$ кВар при $\eta_{\text{еф}} < 10$	$S_M = P_M + Q_M$
	Група А:													
1.	Верстати різні	48,0	9-31,5	882,8		0,14	0,6	123,59	164,78					
2.	Преси	3,0	11,64-81	155,3		0,25	0,65	38,84	45,40					
3.	Чотиристоронній стругальний верстат	2,0	46,5-61,8	108,3		0,30	0,6	32,49	43,32					
	Разом за групою А	55,0	9-81,0	1146,4	$m > 3$	0,15		194,91	253,50	31,0	1,46	284,57	253,50	
	Група Б:													
5.	Кабіни розпилувальні	5,0	13,2-18,0	78,0		0,65	0,8	50,70	38,02					
6.	Вентилятори	4,0	12,0	48,0		0,7	0,8	33,60	25,20					
7.	Постфоринг	1,0	9,0	9,0		0,75	0,95	6,75	2,22					
	Разом за групою Б:	10,0	9-18,0	135,0				91,05	65,44		1,0	91,05	65,44	
	Разом по цеху без освітлення	65,0	9-81,0	1281,4				285,96	318,94			375,62	318,95	
	Освітлювальне навантаження			72,0		$K_c = 0,85$		61,2				61,2		
	Усього з урахуванням освітлення			1353,4				220,48	228,95			436,82	318,95	540,8

2.2 Визначення розрахункового навантаження текстильного комбінату.

Розрахункова повна потужність текстильного комбінату визначається за розрахунковими навантаженням цехів (активним і реактивним) із врахуванням розрахункового навантаження освітлення цехів та території текстильного комбінату, втрат потужності у силових трансформаторах цехових підстанцій та головній понижаючій підстанції та втрат в високовольтній лінії.

Розрахункове навантаження силових приймачів цехів:

$$P_p = K_c \cdot P_n;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ - приймається згідно відповідного значення $\cos \varphi$;

P_p - сумарна встановлена активна потужність всіх електроприймачів цеху;

K_c - коефіцієнт попиту, приймається згідно довідникових даних.

Розрахункова потужність (активна та реактивна) груп електроприймачів вище 1000 В визначаються за формулами, що наведені вище.

Приклад розрахунку для адміністративного корпусу:

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,7 \cdot 700 = 490 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 490 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,75) = 367,5 \text{ кВАр}.$$

Електроприймачі напругою вище 1000 В враховуються окремо:

$$P_p^6 = K_c \cdot P_n = 0,7 \cdot 1260 = 882 \text{ кВт};$$

$$Q_p^6 = 899,6 \text{ кВАр}.$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження текстильного комбінату:

$$\Sigma P_p^H = 7009,6 \text{ кВт};$$

$$\Sigma Q_p^H = 6170,6 \text{ кВАр};$$

$$\Sigma P_{po} = 1175,4 \text{ кВт}.$$

Для електроприймачів вище 1000 В :

$$\Sigma P_p^e = 882 \text{ кВт};$$

$$\Sigma Q_p^e = 899,6 \text{ кВАр}.$$

Так як силові трансформатори цехових підстанцій не вибиралися, то приблизно втрати потужності складають:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 10290 = 205,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 1247 = 125 \text{ кВАр};$$

$$\Delta P_{Л} = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 10290 = 308,7 \text{ кВт};$$

$$S_p^H = \sqrt{(\Sigma P_p^H + \Sigma P_{po})^2 + (\Sigma Q_p^H)^2} = \sqrt{(7009,6 + 1175,4)^2 + (6170,6)^2} = 10290 \text{ кВА}.$$

Результати розрахунків по визначенню розрахункового навантаження текстильного комбінату наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Визначення розрахункових освітлювальних навантажень текстильного комбінату.

№ цеху	Найменування споживача	Силове навантаження					Освітлювальне навантаження					Розрахункове навантаження		
		P _{ном} , кВт	k _c	cosφ/tgφ	P _p , кВт	Q _p , кВАр	F, м ²	P _{уд} , кВт/м ²	P _{н.о.} , кВт	k _{c.о}	P _{p.о} , кВт	P _p +P _{p.о} , кВт	Q _p , кВАр	S _p , кВА
Споживачі електроенергії 0,38 кВ (400 В)														
1.	Адміністративний корпус	700,0	0,7	0.8/0.75	490,0	367,5	2912,0	0,015	43,6	0,9	39,3	529,31	367,5	644,38
2.	Холодний склад	250,0	0,6	0.9/0.48	150,0	72,0	22400,0	0,016	358,0	0,6	215,0	365,04	72,0	372,07
3.	Швейна фабрика	1390,0	0,8	0.75/0.88	1112,0	978,56	5920,0	0,015	88,8	0,85	75,4	1187,48	978,56	1538,73
4.	Ткацький	800,0	0,8	0.75/0.88	640,0	563,2	5920,0	0,015	88,8	0,85	75,4	715,48	563,2	910,55
5.	Сушильний	980,0	0,8	0.75/0.88	784,0	689,92	9600,0	0,015	144,0	0,85	122,0	906,40	689,92	1139,10
6.	Красильний	850,0	0,6	0.8/0.75	510,0	382,5	9600,0	0,015	144,0	0,85	122,0	632,40	382,5	739,08
7.	Інструментальний	2500,0	0,8	0.6/1.33	216,0	287,28	5820,0	0,015	87,3	0,85	74,2	290,21	287,28	408,35
8.	Ремонтно-механічний	1300,0	0,8	0.7/1.02	1040,0	1060,0	5820,0	0,015	87,3	0,85	74,2	1114,21	1040,0	1524,16
9.	Столярний	1281,0	-	-	375,6	318,9	4800,0	0,015	72,0	0,85	61,2	436,80	318,90	540,82
10.	Прядильний	1100,0	0,75	0.8/0.75	825,0	618,75	5820,0	0,015	87,3	0,85	74,2	899,21	618,75	1091,52
11.	Гараж	100,0	0,6	0.8/0.75	60,0	45,0	6720,0	0,015	100,0	0,85	85,6	145,68	45,0	152,47
12.	Котельня	800,0	0,6	0.7/1.02	480,0	490,0	2560,0	0,015	38,4	0,85	32,6	512,64	490,0	702,28
13.	Насосна	120,0	0,6	0.7/1.02	72,0	73,0	2560,0	0,015	38,4	0,85	32,6	104,64	73,0	127,02
14.	Лабораторія	300,0	0,6	0.7/1.02	180,0	183,6	2560,0	0,02	51,2	0,9	46,1	226,08	183,6	288,98
15.	Склад	125,0	0,6	0.7/1.02	75,0	76,5	640,0	0,016	10,24	0,6	6,14	81,14	76,5	110,50

Продовження таблиці 2.3

	Територія текстильного заводу	--	--	--	--	--	239200,0	0,0016	38,2	1,0	38,2	38,27	-	76,31
	РАЗОМ	12596,0	-	-	7009,6	6170,6	53652,0	1479,0	-	1175,0	8185,0	6170,6		
Споживачі електроенергії 10 кВ (10 000 В)														
13.	Насосна (ЦД)	1260,0	0,7	0,9/0.48	882,0		-	-	-	-	-	882,0	899.6	1259,84
	РАЗОМ	-	-	-	882,0		-	-	-	-	-	882,0	899.6	1259,84

2.3 Картограма електричних навантажень. Визначення ЦЕН.

Для визначення місць розташування головної понижаючої підстанції, розподільчих пристроїв, а також цехових трансформаторних підстанцій текстильного комбінату зображаємо навантаження цехів в вигляді картограми електричних навантажень. Дана картограма являє собою графічне зображення навантажень цехів, у вигляді кіл, площі яких відповідають, в вибраному масштабі, розрахунковим навантаженням.

На текстильному комбінаті передбачається автоматична, повна компенсація реактивної потужності до встановлення нормативного коефіцієнта потужності енергетичної системи на усіх рівнях системи електропостачання. Відповідно, при побудові такої картограми реактивні навантаження враховувати не будемо.

Центри електричних навантажень окремих цехів із розподіленим навантаженням визначаються виходячи із того, що у межах цеху електричне навантаження розподілене рівномірно по його площі. Отже, центр електричних навантажень окремого цеху співпадатиме із центром мас плоскої фігури, яка зображує цех на генеральному плані.

Значення розрахункових освітлювальних та силових навантажень цехів приймаються згідно таблиці 2.3 і їх значення заносяться до таблиці 2.4. Також, в таблицю 2.4 заносяться значення координат центрів навантаження цехів, які визначені за генеральним планом.

Для відображення на картограмі навантажень цехів розраховується радіус кіл для кожного із цехів $r_i, мм$:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{p.i} + P_{p.o.i}}{\pi \cdot m}},$$

де m – масштаб визначення площі кола,

приймаємо $m = 1 \text{ кВт} / \text{мм}^2$.

Відділимо у колах сектора, які відносяться до освітлювального навантаження сектором із кутом α_i , градуси, яких визначаються за формулою:

$$\alpha_i = \frac{360^\circ \cdot p_{p.o.i}}{p_{p.i} + p_{p.o.i}}.$$

З генерального плану визначимо координати навантажень цехів як координати середини цеху. Одержані x_i і y_i заносимо в таблицю 2.4.

Координати центру електричних навантажень становлять:

$$x_0 = \frac{\sum S_{pi} x_i}{\sum S_{pi}} = \frac{1939244}{10290} = 188;$$

$$y_0 = \frac{\sum S_{pi} y_i}{\sum S_{pi}} = \frac{973307}{10290} = 94.$$

Таблиця 2.4. Розрахункові дані для побудови картограми навантаження

№ цеху на генеральному плані	$S_p, \text{кВА}$	$P_{p.o}, \text{кВт}$	$r, \text{мм}$	$\alpha, \text{град}$	$X, \text{мм}$	$Y, \text{мм}$	$S_p X, \text{кВА} \cdot \text{мм}$	$Sp \cdot X, \text{кВА} \cdot \text{мм}$
Споживачі 0,38 кВ								
1.	644,38	39,3	14,33	21,96	112,0	154,0	72170,56	99234,52
2.	372,07	215,0	10,89	208,03	48,0	154,0	17859,36	57298,78
3.	1538,73	75,4	22,14	17,64	238,0	154,0	366217,7	236964,4
4.	910,55	75,4	17,03	29,81	252,0	78,0	229458,6	71022,9
5.	1139,1	122,0	19,05	38,56	125,0	78,0	142387,5	88849,8
6.	739,08	122,0	15,34	59,43	76,0	42,0	56170,08	31041,36
7.	408,35	74,2	11,40	65,41	37,0	42,0	15108,95	17150,7
8.	1524,16	74,2	22,03	17,53	158,0	24,0	240817,3	36579,84
9.	540,82	61,2	13,12	40,74	175,0	154,0	94643,5	83286,28
10.	1091,52	74,2	18,64	24,47	194,0	24,0	211754,9	26196,48
11.	152,47	85,6	6,97	202,11	194,0	24,0	29579,18	3659,28
12.	702,28	32,6	14,96	16,71	194,0	24,0	136242,3	16854,72
13.	127,02	32,6	6,36	92,39	194,0	24,0	24641,88	3048,48
14.	288,98	46,1	9,59	57,43	194,0	24,0	56062,12	6935,52
15.	110,5	6,14	5,93	20,00	252,0	28,0	27846,0	3094,0
Споживачі 10 кВ								
13.	1259,84	-	19,93	-	175,0	154,0	218284,5	192090,4
Всього	11537,35	-	-	-	-	-	1939244,0	973307,4

Як видно з рис. 2.1. ГПП розташували на території біля цеху №13, ближче до лінії живлення, оскільки можна розташувати ГПП у точці ЦЕН.

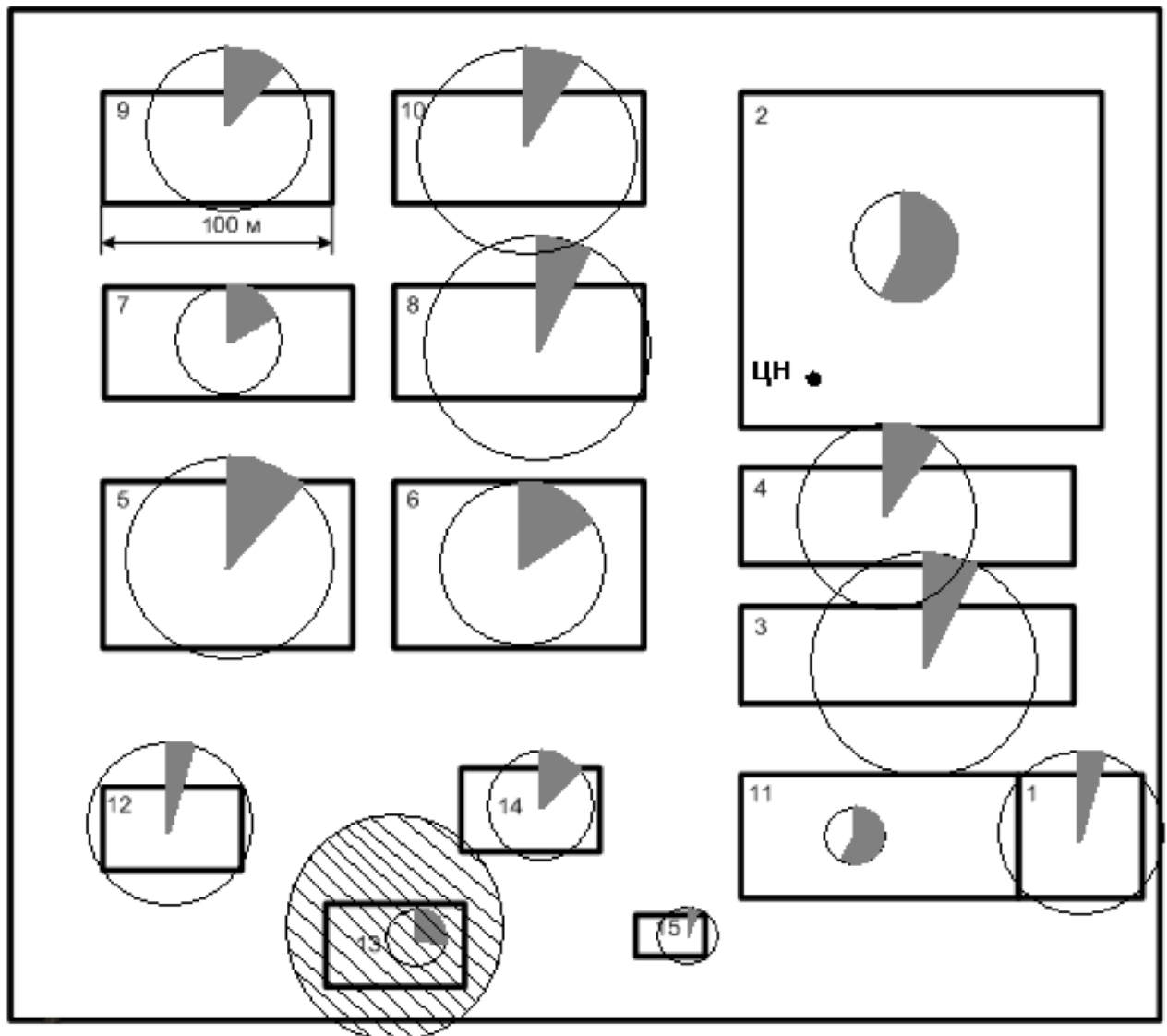


Рисунок 2.1 – Картограма навантажень і ЦЕН.

Масштаб електричних навантажень для цехів 1-5 дорівнює $m = 1/5$, інших цехів $m = 1/3$.

2.4 Вибір числа та потужності трансформаторів цехових підстанцій (ЦТП)

2.4.1 Вибір числа та потужності трансформаторів цехових ТП напругою 10/0,4 кВ.

Одними із основних факторів під час вибору числа та потужності силових трансформаторів *ТП 10 / 0,4 кВ* являються критерії надійності, витрати на мережу живлення 0,4 кВ, втрати потужності у цій мережі та у силових трансформаторах, витрати на компенсацію реактивної потужності та будівельну частину ТП. Для точного обліку перелічених чинників потрібно виконати техніко-економічні розрахунки передбачуваних схем електропостачання текстильного комбінату [10, 12].

При певній кількості силових трансформаторів із номінальною потужністю $S_{ном.т}$ можна досягти мінімуму приведених витрат за забезпечення заданого ступеня надійності електропостачання. Такий варіант буде оптимальним та його потрібно розглядати як остаточний [9, 13].

Орієнтовно вибір номінальної потужності цехових силових трансформаторів проводиться за питомою густиною навантаження σ , $\frac{кВА}{м^2}$:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_u},$$

де S_p – сумарна потужність текстильного комбінату;

F_u – площа всіх цехів текстильного комбінату.

$$\sigma = \frac{1290}{53652} = 0,2 \frac{кВА}{м^2}.$$

Для даної щільності навантаження рекомендована номінальна потужність силових трансформаторів $S_{ном.т} = 1600 \text{ кВА}$.

Мінімальна кількість силових трансформаторів цехових ТП:

$$N_{\min} = \frac{\sum (P_p^H + P_{p.o})}{\beta_T S_{\text{нтр}}};$$

$$N_{S_{\text{н.мп}}=1600}^{\min} = \frac{7009 + 1175,4}{0,7 \cdot 1600} = 7,3.$$

При прийнятому числі силових трансформаторів:

$S_{\text{ном.т}} = 1600$ кВА $N = 8$ вдається забезпечити надійність по електропостачання.

Приклад розрахунку:

Визначаємо активне навантаження на один силовий трансформатор номіналом $S_{\text{ном.т}} = 1600$ кВА:

$$P_1 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{N} = \frac{7009 + 1175,4}{8} = 1023,05 \text{ кВт}.$$

Число силових трансформаторів, що потрібно встановити у тому чи іншому цеху:

$$N_i = \frac{P_{pi} + P_{poi}}{P_1}$$

$$N_i = \frac{P_{pi} + P_{poi}}{P_1} = \frac{529}{1023,05} = 0,517.$$

Кількість силових трансформаторів в цеху:

$$n_i = \frac{(P_p + P_{p.o})_i}{P_1}.$$

Отже, за цехами, відповідно до номеру:

$$n_1 = \frac{529}{1023,05} = 0,52;$$

$$n_2 = \frac{365}{1023,05} = 0,36;$$

$$n_3 = \frac{1187}{1023,05} = 1,16;$$

$$n_4 = \frac{715}{1023,05} = 0,7;$$

$$n_5 = \frac{906}{1023,05} = 0,9;$$

$$n_6 = \frac{632}{1023,05} = 0,61;$$

$$n_7 = \frac{290}{1023,05} = 0,28;$$

$$n_8 = \frac{1114}{1023,05} = 1,09;$$

$$n_9 = \frac{436}{1023,05} = 0,42;$$

$$n_{10} = \frac{899}{1023,05} = 0,88;$$

$$n_{11} = \frac{145}{1023,05} = 0,14;$$

$$n_{12} = \frac{512}{1023,05} = 0,5;$$

$$n_{13} = \frac{104}{1023,05} = 0,1;$$

$$n_{14} = \frac{226}{1023,05} = 0,22;$$

$$n_{15} = \frac{81}{1023,05} = 0,08.$$

Перевірка:

$$\begin{aligned} \sum n_i &= 0,52 + 0,36 + 1,16 + 0,7 + 0,9 + 0,61 + 0,28 + 1,09 + \\ &+ 0,42 + 0,88 + 0,14 + 0,5 + 0,1 + 0,22 + 0,08 = 7,44 \approx 8. \end{aligned}$$

Параметри вибраного силового трансформатора цехових ТП зводимо до таблиці 2.5.

Вибираємо трансформатори двообмоткові масляні типу ТМЗ – 1600/10/0,4 [2, 7].

Таблиця 2.5 - Параметри силових трансформаторів цехових ТП.

Тип трансформатора	$S_{ном}$, кВА	$U_{ном}$ обмоток, кВ		U_k , %	$P_{кз}$, кВт	$P_{хх}$, кВт	i_x , %	Схема і група з'єднань обмоток
		ВН	НН					
ТМЗ – 1600 / 10 – У1	1600	10	0,4	6.0	16.5	2.65	1.0	Δ-У0-11

На плані текстильного комбінату позначаємо місця розташування цехових ТП.

Трансформатори підстанцій заживлені від різних секцій РП 10 кВ ГПП.

Таблиця 2.6 - Розподіл електричних навантажень за пунктами живлення.

Найменування пункту живлення	Споживачі електроенергії	Місце розташування пункту живлення на генеральному плані	Кількість та потужність трансформаторів
ТП-2	Цех 2,5,10	Цех 2	2x1600 кВА
ТП-3	Цех 3,4, 11	Цех 3	2x1600 кВА
ТП-6	Цех 6, 12, 13, 14, 1, 15	Цех 6	2x1600 кВА
ТП-8	Цех 8, 7, 9	Цех 8	1x1600 кВА

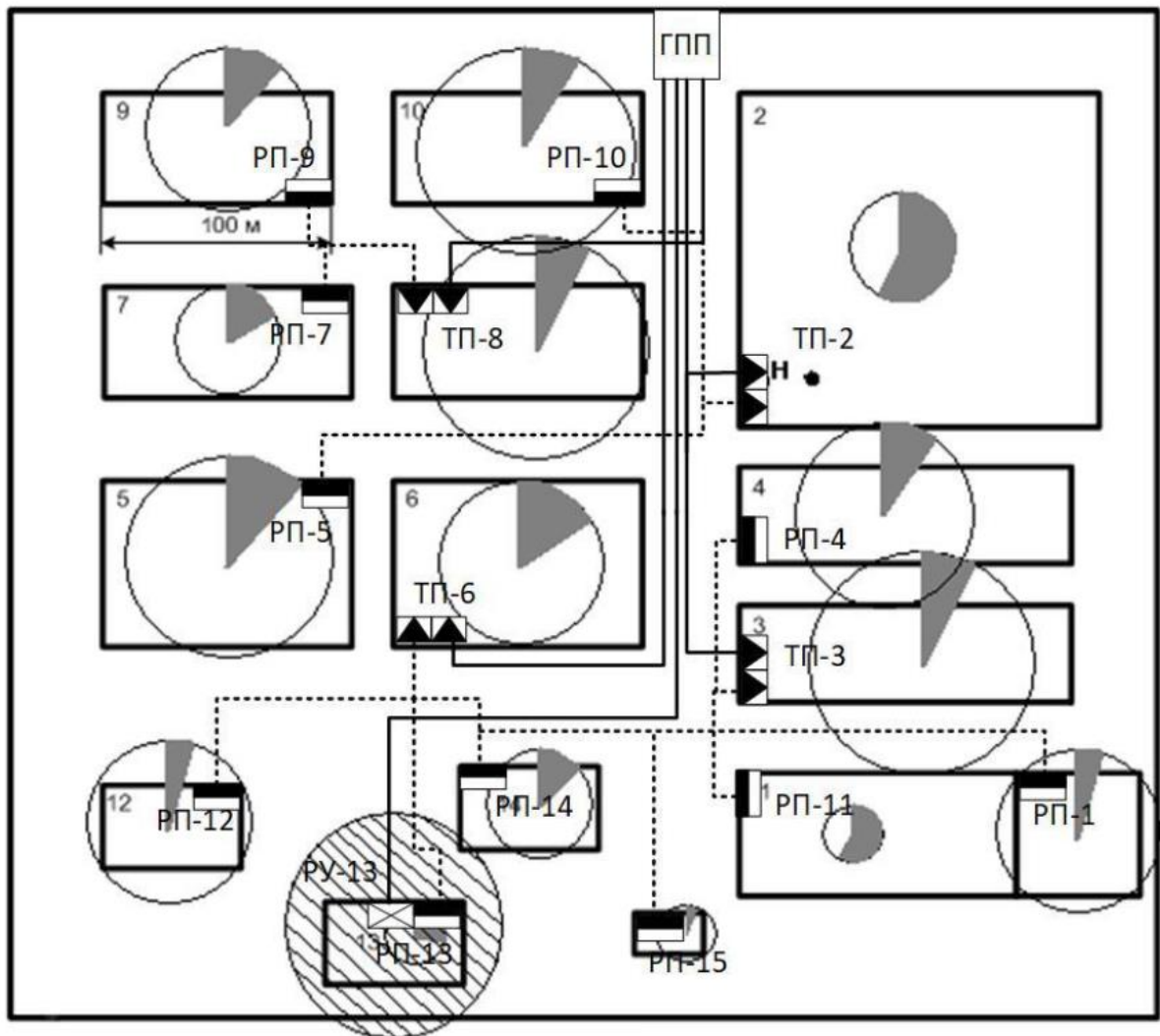


Рисунок 2.2 – Генеральний план текстильного комбінату з картограмою електричних навантажень та розташуванням ГПП.

2.4.2 Розрахунок втрат потужності в силових трансформаторах.

Втрати потужності у силовому трансформаторі поділяються на постійні та змінні. До постійних втрат відносять втрати холостого ходу ΔP_{xx} та ΔQ_{xx} , а до змінних відносять втрати на нагрівання обмоток та розсіювання магнітного потоку $\Delta P_{кз}$ і $\Delta Q_{кз}$.

В загальному втрати повної потужності у силових трансформаторах $\Delta S_{тр}$, $кВА$ можна записати як:

$$\Delta S_{mp} = \sqrt{\Delta P_{mp}^2 + \Delta Q_{mp}^2},$$

де ΔP_{mp} і ΔQ_{mp} – втрати активної і реактивної потужності силового трансформатора відповідно.

Втрати активної потужності при окремо працюючих n однотипних силових трансформаторах ΔP_{mp} , $кВт$:

$$\Delta P_{mp} = n \cdot \Delta P_{xx} + n \cdot \Delta P_{кз} \cdot \beta_{mp.n}^2,$$

де ΔP_{xx} – приймаємо за довідковими даними в залежності від потужності для силового трансформатора $ТМЗ$ за [2, 7];

$\Delta P_{кз}$ – активні втрати короткого замикання, $кВт$, приймаємо за довідковими даними в залежності від потужності для силового трансформатора $ТМЗ$ за [2, 7].

При окремо працюючих n однотипних силових трансформаторах ΔQ_{mp} , $кВАр$:

$$\Delta Q_{mp} = n \cdot \Delta Q_{xx} + n \cdot \Delta Q_{кз} \cdot \beta_{mp.n}^2$$

де ΔQ_{xx} знаходяться по формулі:

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} \cdot S_{ном.т}}{100},$$

де I_{xx} – приймаємо за довідковими даними залежно від потужності та марки силового трансформатора за [2, 7];

$\Delta Q_{кз}$ – реактивні втрати короткого замикання, $кВАр$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз} \cdot S_{ном.т}}{100}$$

де $U_{кз}$ – приймаємо за довідковими даними залежно від потужності та марки силового трансформатора за [2, 7].

Розрахунок втрат для $ТП - 2$, $ТМЗ - 1600$:

$$\Delta P_{mp} = N \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot \beta_{mp.n}^2) = 2 \cdot (2.65 + 16,5 \cdot 0,68^2) = 20,56 кВт;$$

$$\Delta Q_{mp} = N \cdot (\Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз} \cdot \beta_{mp.n}^2) = 2 \cdot (16 + 96 \cdot 0,68^2) = 120,781 кВАр;$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{I_{xx} \cdot S_{ном.т}}{100} = \frac{1\% \cdot 1600}{100} = 16 \text{кВАр};$$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_{кз} \cdot S_{ном.т}}{100} = \frac{6\% \cdot 1600}{100} = 96 \text{кВАр}.$$

Для решти ТП розрахунок ведеться аналогічно.

Згрупуємо цехи залежно від силових трансформаторів і зробимо розрахунок втрат. Отримані результати зведемо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Розрахунок втрат потужності силових трансформаторів

№	Найменування споживачів	Заживлені цехи	$S_{ном.т.},$ кВА	$\beta_{тр.н}$	$\Delta P_{xx},$ кВт	$\Delta P_{кз},$ кВт	$U_{кз},$ %	$I_{xx},$ %	$\Delta P_{тр},$ кВт	$\Delta Q_{xx},$ кВАр	$\Delta Q_{кз},$ кВАр	$\Delta Q_{тр},$ кВАр	$\Delta S_{тр},$ кВА
ТП-2	Холодний склад	2,5,10	1600,0	0,683356	2,65	16,5	6,0	1,0	20,56	16,0	96,0	120,78	122,52
ТП-3	Швейна фабрика	3,4,11	1600,0	0,683356	2,65	16,5	6,0	1,0	20,56	16,0	96,0	120,78	122,52
ТП-6	Покрасочний	6, 12, 13, 14, 1, 15	1600,0	0,698578	2,65	16,5	6,0	1,0	21,38	16,0	96,0	125,54	127,35
ТП-8	Ремонтно-механічний	8,7,9	1600,0	0,683356	2,65	16,5	6,0	1,0	20,56	16,0	96,0	120,78	122,52

2.5 Компенсація реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехових ТП та уточнення їх навантаження.

Для зниження втрат в лініях і трансформаторах приймемо варіант компенсації реактивної потужності на напрузі 0,4 кВ безпосередньо поблизу електричних приймачів. КБ приєднуємо до збірних шин НН КТП і РП.

Реактивна потужність, яку можна передавати через трансформатори КТП в мережу напругою до 1000 В при заданому коефіцієнті завантаження:

$$Q_{\max} = \sqrt{(n \cdot \beta \cdot S_{н.т})^2 - P_p^2},$$

де n - число силових трансформаторів на ТП;

β - коефіцієнт завантаження силових трансформаторів в нормальному режимі;

$S_{н.т}$ - номінальна потужність силових трансформаторів, встановлених на ТП;

P_p - розрахункове активне навантаження ТП на шинах 0,4 кВ.

Коефіцієнт завантаження силових трансформаторів наскільки можна приймаємо близьким до 0,6–0,7 оскільки при цьому забезпечується його максимальний ККД.

Для ТМЗ–1600/10: ТП2:

$$Q_{\max}^{1600} = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - (365,04 + 899,21 + 906,4)^2} = 551,65 \text{ кВАр}.$$

Вибираємо потужність КБ близьку до розрахункової реактивної потужності. З умовою, що: $Q_p - Q_{КБ} \leq Q_{\max}$

Для ТМЗ–1600/10: ТП2:

$$Q_{БК,Н1} = Q_{розрН} - Q_{\max TP} = (72 + 689,92 + 618,75) - 551,65 = 829,02 \text{ кВАр}.$$

необхідна компенсація.

Для решти ТП розрахунок аналогічний. Зведемо результати розрахунку таблицю 2.8.

2.6 Система зовнішнього електропостачання

Вибір напруги мереж живлення та розподільчих мереж залежить від потужності, що споживається текстильним комбінатом, його віддаленості від джерела живлення, напруги джерела живлення, кількості і одиничної потужності ЕП.

Економічно доцільну напругу лінії живлення ГПП можна оцінити за формулою Іларіонова:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} - \frac{2500}{P}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{3} - \frac{2500}{8,2}}} = 46,05 \text{ кВ},$$

де L – відстань від джерела живлення, км;

P - потужність, рівна розрахунковому навантаженню текстильного комбінату, МВт.

Приймаємо напругу лінії живлення ГПП $U = 110 \text{ кВ}$.

Згідно із всіма вимогами, що пред'являються до схем ГПП, на стороні ВН ГПП (110 кВ) приймаємо схему 4Н - два блоки з вимикачами та неавтоматичною перемичкою з боку ліній, а на НН ГПП (10 кВ) схему обхідну систему шин, секційовану вакуумним вимикачем з пристроєм АВР [3].

Електропостачання заводу здійснюється від підстанції енергетичної системи за двома ЛЕП напругою 110 кВ. ГПП розміщується на території текстильного комбінату відповідно до розрахункового центру електричних навантажень.

Потужність силових трансформаторів на ГПП:

$$S_{н.тр.} = \frac{S_{р.ГПП}}{N_{тр} \cdot \beta_{тр}},$$

де $S_{р.ГПП}$ – повна розрахункова потужність текстильного комбінату зі сторони вищої напруги силових трансформаторів ГПП;

$\beta_{тр} = 0,7$ – коефіцієнт завантаження силових трансформаторів ГПП.

$$S_{н.тр.} = \frac{S_{р.ГПП}}{N_{тр} \cdot \beta_{тр}} = \frac{19367,6}{2 \cdot 0,7} = 13834 \text{ кВА}.$$

Отримане значення $S_{н.тр.}$ заокруглюємо до найближчого більшого типу *ТДН* – 16000/110 [2, 7]. Паспортні дані трансформатора представлені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Паспортні дані трансформатора *ТДН* – 16000/110.

Тип трансформатора	$S_{ном}$, кВА	$U_{ном}$ обмоток, кВ	$U_{к}$, %	$P_{кз}$, кВт	$P_{хх}$, кВт	$I_{хх}$, %	Група з'єднання обмоток
<i>ТДН</i> – 16000/110	16000	115/11	10.5	90,0	15.8	0.33	УН/УН/D- 0-11

Вибір перерізу проводів повітряних ліній, що живлять силові трансформатори ГПП.

Лінії живлення виконуються проводом марки АС, переріз якого вибирається по нагріву розрахунковим струмом.

Розрахунковий струм на одну лінію:

$$I_p = \frac{S_p^{ГПП}}{2\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16000}{2\sqrt{3} \cdot 110} = 42 \text{ А}.$$

В аварійному режимі:

$$I_{ав.р} = \frac{S_p^{ГПП}}{2\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 84 \text{ А}.$$

Економічний переріз:

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{42}{1} = 42 \text{ А}.$$

де $j_{ек} = 1 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ – нормоване значення економічної густини струму при

$T_m > 5000 \text{ год}$ [4].

Заокругливши розрахункову величину перерізу до найближчої стандартної, отримаємо 50 мм^2 , але за умовами обмежень втрат на корону для 110 кВ мінімальний переріз - 70 мм^2 , тому приймаємо переріз ліній живлення 70 мм^2 .

Для АС - 70 допустимий струм $I_{\text{дон}} = 265 \text{ А}$.

Для обраного перерізу виконаємо необхідні перевірки:

1. По післяаварійному струмі, коли одна з ліній пошкоджена або відключена:

$$1,3I_{\text{дон}} \geq I_{\text{ав.р.}}$$

$$1,3 \cdot 265 \geq 101,654$$

Отже, обраний переріз цю перевірку проходить.

2. Перевірку по коронування не проводимо.

3. За механічною міцністю мінімальний переріз $F_{\text{min}} = 25 \text{ мм}^2$, що менше обраного.

4. Перевірка з допустимої втрати напруги:

- допустима довжина лінії живлення:

$$l_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}} \% \cdot \frac{I_{\text{дон}}}{I_p} \geq l_{\text{факт}},$$

де $l_{\Delta U 1\%}$ - довжина лінії при повному навантаженні, на якій втрата напруги дорівнює 1%. По [4] приймаємо $l_{\Delta U 1\%} = 5,1 \text{ км}$;

$\Delta U_{\text{дон}} \% = 5\%$ - допустима втрата напруги у нормальному режимі.

Отже,

$$l_{\text{дон}} = 5,1\% \cdot 5\% \cdot \frac{265}{50,827} = 132,951 \geq l_{\text{факт}} = 13 \text{ км},$$

Отже обраний перетин проходить і цю перевірку.

Таким чином, електропостачання текстильного комбінату здійснюється від підстанції енергетичної системи по двох повітряних лініях 110 кВ , виконаним дротом марки АС-70 на металевих двоколових опорах.

ГПП розташовується на території підприємства зі зміщенням від центру електричних навантажень через особливості розташування цехів. На ГПП встановлено два двообмоткові трансформатори типу *ТДН* –16000/110.

На стороні 110 кВ прийнято спрощену схему комутації (відділювач та короткозамикач). На стороні 10 кВ прийнято одинарну систему шин, секціоновану масляним вимикачем з пристроєм АВР.

2.7 Схема внутрішньозаводського розподілу мережі 10 кВ

Розподільна мережа вище 1000 В по території текстильного комбінату виконується кабельними лініями. Прокладка кабелів здійснюється у кабельних траншеях [11].

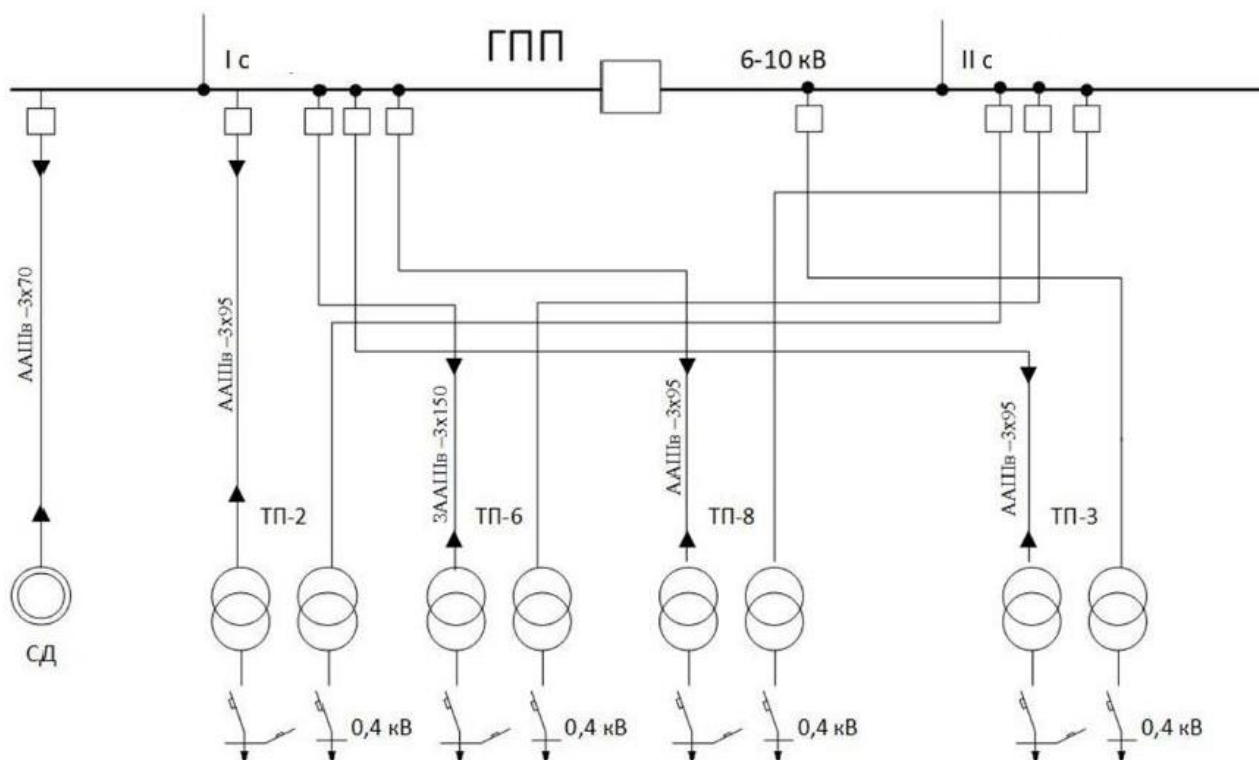


Рисунок 2.3 – Схема внутрішньозаводської розподільчої мережі

Вибір перерізів кабелів виконуємо за економічною щільністю струму.
Економічно доцільний переріз F , мм^2 :

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}},$$

де I_p - розрахунковий струм на один кабель, A ;

$j_{ек}$ - нормоване значення економічної щільності струму, $A/\text{мм}^2$.

Для високовольтних кабелів при $T_m = 5000$ годин приймаємо $j_{ек} = 1,2 A/\text{мм}^2$ [4].

Отриманий переріз заокруглюємо до найближчого стандартного перерізу. Розрахунковим струмом лінії для цехових силових трансформаторів, перетворювачів, високовольтних електродвигунів та трансформаторів електропечей є їх номінальний струм, незалежно від фактичного завантаження.

Вибраний перетин перевіряється за допустимим навантаженням з умов нагрівання в нормальному режимі та з урахуванням допустимого навантаження в післяаварійному режимі. Для завантажених та довгих ліній проведемо перевірку обраного перерізу за допустимою втратою напруги.

Вибір кабелю для лінії від ГПП – ТП-2.

Розглядаються дві паралельні лінії, що йдуть з різних секцій ГПП до ТП-2.

Розрахунковий струм на один кабель:

$$I_p = \frac{n_{тр} \cdot S_{н.тр}}{n_{лін} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 1600}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 92,38 A.$$

де $n_{лін}$ - число ліній живлення.

$$I_{n/ав} = I_p = 59,53 A.$$

Економічно доцільний перетин:

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}};$$

$$F_{ек} = \frac{92,38}{1,2} = 76,98 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо найближчий стандартний переріз $F = 95 \text{ мм}^2$:

$$I_{дон} = 205 \text{ А} [8].$$

Перевірка вибраного перерізу по допустимому нагріву:

$$I_{дон} = 205 \text{ А} \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2} = \frac{92,38}{1 \cdot 0,78} = 118,44 \text{ А}.$$

де $K_1 \cdot K_2$ - коефіцієнти, що враховують вплив температури навколишнього середовища, вплив поряд прокладених кабельних ліній, фактичний питомий тепловий опір землі.

Перевірка вибраного перерізу на допустимий нагрів післяаварійним струмом:

$$K_{пер} \cdot I_{дон} = \frac{I_{н.а}}{K_1 \cdot K_2},$$

де $I_{н.а}$ - розрахунковий струм лінії у післяаварійному режимі;

$K_{пер}$ - кратність перевантаження, для нашого випадку $K_{пер} = 1,2$ [2].

Струм лінії в післяаварійному режимі дорівнює подвійному струму нормального режиму.

Тоді:

$$K_{пер} \cdot I_{дон} = 1,2 \cdot 205 = 246 \text{ А} \geq \frac{I_{н.а}}{K_1 \cdot K_2} = \frac{2 \cdot 92,38}{1 \cdot 0,78} = 236,87 \text{ А}.$$

Вибраний перетин проходить перевірку.

Перевірка кабелю зі втрати напруги:

$$\Delta U_{кл} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_n^2},$$

де l - довжина лінії.

Умова виконана.

Попередньо намічаємо кабель марки ААШв – 3х95, спосіб прокладання кабелю в траншеї [8].

Таким чином, обраний перетин проходить перевірку по нормальному та післяаварійному режимам. Як лінія Л-1 приймаємо кабель марки *ААШв* – 3х95.

Для інших кабельних ліній аналогічно проводимо розрахунок.

В таблиці 2.10 наведені дані попереднього вибору кабелів внутрішньозаводської електричної мережі.

Таблиця 2.10 – Розрахунок вибору кабелів внутрішньозаводської мережі

Призначення лінії	К-сть лінії	Розрахункове навантаження на одну кабельну лінію		Довжина лін. l, км	Спосіб прокладання	$F_{ек}, мм^2$	Допустиме навантаження одного кабелю		Перевірка по нагріву		Марка та переріз кабелю, обраного за умовою допустимого нагріву $S, мм^2$	$R_0, Ом / км$	$X_0, Ом / км$	$R, Ом$	$X, Ом$
		Норм. Режим I_p, A	П.ав. Режим $I_{n.a}, A$				Норм. режим $I_{дон}, A$	П.ав. режим $1,2 \cdot I_{дон}, A$	Норм. режим $\frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}, A$	П.ав. Режим $\frac{I_{n.a}}{K_1 \cdot K_2}, A$					
ГПП-ТП2	2	92,38	184,76	0,18	траншея	76,98	205,0	246,0	118,44	236,88	ААШв -3x95	0,32	0,083	0,05	0,01
ГПП-ТП3	2	92,38	184,76	0,27	траншея	76,98	205,0	246,0	118,44	236,88	ААШв -3x95	0,32	0,083	0,08	0,02
ГПП-ТП8	2	92,38	184,76	0,21	траншея	76,98	205,0	246,0	118,44	236,88	ААШв -3x95	0,32	0,083	0,06	0,01
ГПП-РП	1	66,82	-	0,32	траншея	55,68	165,0	198,0	78,61	-	ААШв -3x70	0,443	0,083	0,14	0,02
ГПП-ТП-6	2	92,38	184,76	0,15	траншея	76,98	205,0	246,0	118,44	236,88	ЗААШв-3X150	0,32	0,083	0,05	0,01

2.8 Висновки до розділу

1. Визначено розрахункові навантаження текстильного комбінату: розрахункова активна потужність з урахуванням освітлення цехів та території текстильного комбінату становить 882 кВт, реактивна потужність – 899,6 кВАр, повна потужність – 1259,8 кВА.

2. Побудована картограма електричних навантажень, а також визначено центр електричних навантажень та місце розташування головної понижаючої підстанції.

3. Проведено вибір числа та потужності трансформаторів цехових підстанцій напругою 10/0,4 кВ. Вибрано вісім двохобмоткових масляних трансформаторів типу *ТМЗ* – 1600/10/0,4. Проведено розрахунок втрат потужності в силових трансформаторах.

4. Проведено розрахунок компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехових ТП. Вибрано КБ типу УКМ-58-04 різної потужності.

5. Прийнято напругу лінії живлення ГПП 110 кВ. Вибрано два силових трансформатори типу *ТДН* – 16000/110 для установки на ГПП. Прийнято переріз ліній живлення 70 мм^2 , допустимий струм - $I_{\text{дон}} = 265 \text{ А}$. Запропонована схема внутрішньозаводської розподільчої мережі.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок струмів КЗ у мережі вище 1000 В.

Розрахунок струмів КЗ будемо проводити для ділянки розподільчої мережі 10кВ ГПП-КТП-6, СД. Намічаємо на схемі розрахункові точки. Складаємо розрахункову схему:

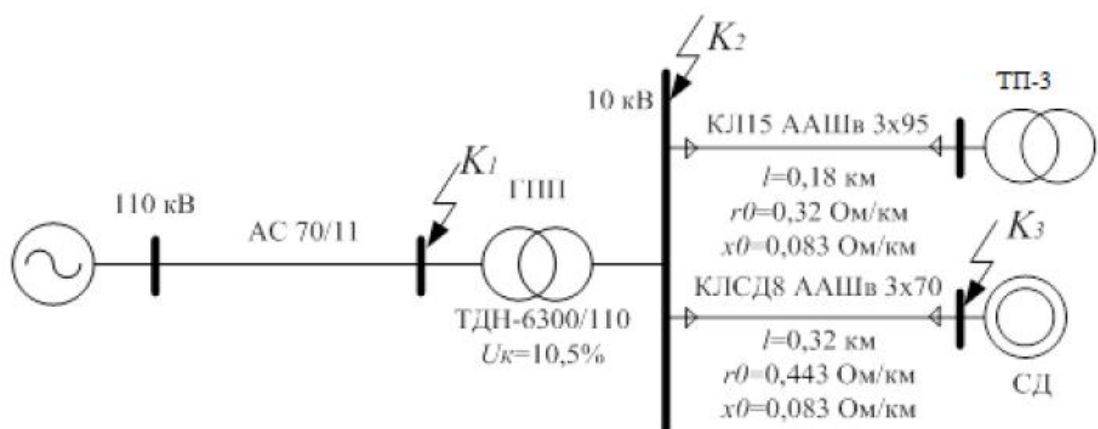


Рисунок 3.1 - Однолінійна розрахункова схема мережі.

Розрахунок ведемо у відносних одиницях. Для цього всі розрахункові дані приведемо до базисної напруги та базисної потужності. Величина базисної напруги перевищує номінальну на 5%. Отже, використовуючи стандартний ряд базисних напруг, приймаємо $U_{\delta 1} = 115 \text{ кВ}$, $U_{\delta 2} = 10,5 \text{ кВ}$. За базову потужність приймаємо $S_{\delta} = 100 \text{ МВА}$.

Приймаємо, що джерело енергосистеми нескінченної потужності з $S_c = \infty$ і відповідно індуктивний опір $x_c = 0$.

Розрахунок параметрів:

1. Опір повітряної лінії 110 кВ:

$$r_{nl} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}1}^2} = \frac{0,422 \cdot 9 \cdot 100}{115^2} = 0,03 \text{ у.о.};$$

$$x_{nl} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}1}^2} = \frac{0,444 \cdot 9 \cdot 100}{115^2} = 0,03 \text{ у.о.}$$

де $l = 9 \text{ км}$ – довжина повітряної лінії;

$U_{\bar{o}1}$ - базисна напруга даного ступеня трансформації, кВ ;

r_0 - активний опір АС-70;

x_0 – індуктивний опір АС-70.

2. Опір трансформатора *ГПП ТМН* – 6300/110:

де $S_{НОМ.ТР}$ – номінальна потужність трансформатора;

$U_{кз}$ – напруга короткого замикання трансформатора.

Активним опором нехтуємо, так як трансформатор великої потужності.

3. Опір кабельної лінії КЛ-СД:

$$r_{кл} = \frac{r_0 \cdot l \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}2}^2} = \frac{0,443 \cdot 0,32 \cdot 100}{10,5^2} = 0,13 \text{ у.о.};$$

$$x_{кл} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}2}^2} = \frac{0,083 \cdot 0,32 \cdot 100}{10,5^2} = 0,024 \text{ у.о.}$$

де l - довжина кабельної лінії, км ;

$U_{\bar{o}2}$ - базисна напруга даного ступеня трансформації, кВ ;

r_0 - активний опір ААШв 3х70;

x_0 - індуктивний опір ААШв 3х70.

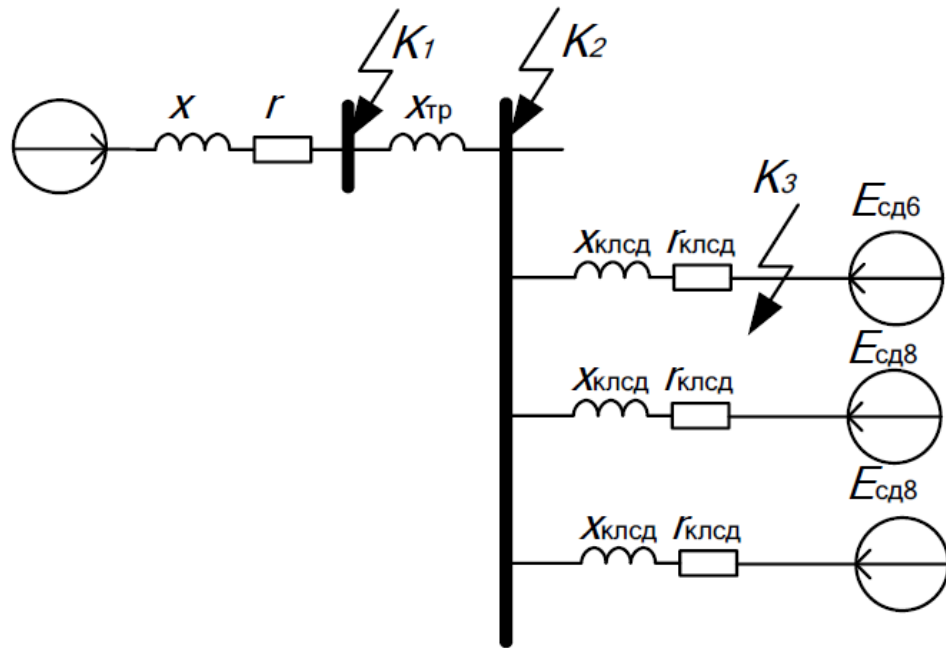


Рисунок 3.2 – Однолінійна схема заміщення

Точка К3 - струм КЗ від СД на його затискачах.

Розраховуємо струм від найпотужнішого двигуна.

Приймаємо:

$$E'' = 1,1;$$

$$x_d'' = 0,2.$$

$$I_{\text{ном.СД}} = \frac{P_{\text{ном.СД}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,96 \cdot 0,9} = 66,82 \text{ A}.$$

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = I_{\text{КЗ-СД}} = \frac{E'' \cdot I_{\text{ном.СД}}}{x_d''} = \frac{1,1 \cdot 66,82}{0,2} = 0,37 \text{ кА}.$$

Точка К2.

Базовий струм.

$$I_{\text{б2}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б2}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,49 \text{ кА}.$$

Результуючий опір:

$$Z_{\text{рез2}} = \sqrt{(x_{nl} + x_{mp})^2 + r_{nl}^2} = \sqrt{(0,03 + 1,67)^2 + 0,03^2} = 1,7 \text{ у.о.}$$

Підживлення струмів КЗ від СД8 у точці К2 не враховуємо, оскільки довжина КЛСД понад триста метрів.

Початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ від системи:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{\bar{6}2}}{Z_{рез2}} = \frac{5,49}{1,7} = 3,18 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K3K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 2 \cdot 3,18 = 8,99 \text{ кА},$$

де $k_{y\partial}$ - ударний коефіцієнт, який визначається наступним чином:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{56,67}} = 2,$$

де $T_a = \frac{x}{r} = 56,67$.

Точка К1.

Базовий струм:

$$I_{\bar{6}1} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{6}1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ кА}.$$

Результуючий опір:

$$Z_{рез1} = \sqrt{x_{nl}^2 + r_{nl}^2} = \sqrt{0,03^2 + 0,03^2} = 0,04 \text{ у.о.}$$

Початкове значення періодичної складової струму трифазного КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{\bar{6}1}}{Z_{рез1}} = \frac{1,56}{0,04} = 39 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{K3K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,99 \cdot 39 = 109,76 \text{ кА}.$$

де $k_{y\partial}$ - ударний коефіцієнт, який визначається наступним чином:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{1}} = 1,99,$$

де $T_a = \frac{x}{r} = 1$.

Усі дані зведено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Зведена відомість струмів КЗ.

Розрахунковий струм	К1	К2
$I_{КЗ}^{(3)}$	39,0	3.18
i_{y0}	109.76	8.99

Перевірка КЛ-ТП6 проводитиметься по струмам КЗ у точці К2, так як по результатам розрахунку струми короткого замикання в цій точці вищі, ніж наприкінці лінії.

Для перевірки перерізу кабелю на термічну стійкість до струмів КЗ використовується вираз:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \text{ мм}^2,$$

де C_T - коефіцієнт, що залежить від допустимої температури при КЗ та матеріалу провідника, для нашого випадку $C_T = 95 \frac{A \cdot c^{\frac{1}{2}}}{\text{мм}^2}$;

B_k - тепловий імпульс струму КЗ, $A \cdot c^2$.

Тепловий імпульс струму короткого замикання B_k визначається за формулою:

$$B_k = I_{I0}^2 (t_{np} + T_a) = 3,18^2 (0,055 + 0,18) = 2,3 \cdot 10^6 A^2 \cdot c,$$

де I_{I0} - початкове діюче значення періодичної складової струму КЗ;

t_{np} - наведений (розрахунковий) час відключення струму КЗ;

T_a - постійна часу затухання аперіодичної складової струму короткого замикання.

Постійна затухання аперіодичної складової струму КЗ визначається як:

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}} = \frac{1,7}{314 \cdot 0,03} = 0,18 c,$$

де x_{Σ} , r_{Σ} - результуючий індуктивний та активний опір схеми відносно точки КЗ.

Приведений час відключення струму КЗ визначається за виразом:

$$t_{np} = t_{p.з.} + t_{відкл} = 0,03 + 0,025 = 0,055 \text{ с},$$

де $t_{p.з.}$ - час дії релейного захисту;

$t_{відкл}$ - повний час відключення вакуумного вимикача, дорівнює 0,025 с.

Повний час дії релейного захисту $t_{p.з.}$ визначається за виразом:

$$t_{p.з.} = t_{p.з.min} + \Delta t_c = 0,03 + 0 = 0,03 \text{ с},$$

де $t_{p.з.min}$ - мінімальний час спрацьовування першого ступеня захисту, прийнятий рівним $t_{p.з.min} = 0,03 \text{ с}$.

Δt_c - ступінь селективності, що приймається в залежності від числа ступенів розподілу енергії територією підприємства.

Тоді

$$F_{min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{\sqrt{2,3 \cdot 10^6}}{95} = 15,96 \text{ мм}^2.$$

Умова виконана. Вибраний для КЛ-КТП6 кабель марки ААШв 3х95 проходить по термічній стійкості до струму КЗ, отже, залишаємо намічений кабель.

Вибраний перетин необхідно перевірити за втратою напруги:

$$\Delta U_{кл} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_n^2} = \frac{2290 \cdot 0,32 \cdot 0,18 + 1718 \cdot 0,083 \cdot 0,18}{10 \cdot 10^2} = 0,16,$$

де l - довжина лінії, км;

P , Q - активна та реактивна потужності, що передаються по лінії;

r_0 , x_0 - активний погонний і реактивний опори КЛ, Ом/км.

Відносні втрати напруги вважають прийнятними, якщо вони в післяаварійних режимах роботи не перевищують у мережах високої напруги - 10%. У нашому випадку обраний кабель ААШв 3х95 пройшов усі етапи перевірки та задовольняє всім вимогам.

3.2 Вибір високовольтного обладнання.

Виберемо високовольтний вимикач з низької сторони ГПП, а також секційний вимикач.

Виберемо високовольтний вимикач.

Розрахункові дані

Довідкові дані

$$U_n = 10 \text{ кВ}$$

$$= U_n = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{\max} = 1118 \text{ А}$$

$$< I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$$

$$I_{n.o} = 7,91 \text{ кА}$$

$$< I_{\text{відкл.ном}} = 20 \text{ кА}$$

$$i_y = 20,14 \text{ кА}$$

$$< i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$$

$$B_k = 61,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

$$< I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Приймаємо до встановлення вимикач марки ВМЕ-10Е-1000/20УЕ.

Вибір роз'єднувача, 110 кВ здійснимо за такими умовами:

1. За напругою установки: $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$;
2. По тривалому струму: $I_p \leq I_n$ (крім короткозамикача);
3. По електродинамічній стійкості: $i_y \leq i_{\text{дин}}$;
4. По термічній стійкості: $B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$.

Вибір роз'єднувача та відокремлювача зведемо до таблиці 3.2.

Вибір короткозамикача 110 кВ зведемо до таблиці 3.3.

Вибір вимикача та роз'єднувача 110 кВ.

Вибираємо вимикач ВБУ-110-50/1000У3.

Вибираємо роз'єднувач РНДЗ.2-110/630Т1.

Таблиця 3.2 -Вибір вимикача та роз'єднувача 110 кВ.

Розрахункові дані	Каталожні дані	
	Вимикач ВБУ-110-50/1000УЗ	Роз'єднувач РНДЗ.2-110/630Т1
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 101 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_y = 32,77 \text{ кА}$	$I_{дин} = 100 \text{ кА}$	$I_{дин} = 80 \text{ кА}$
$B_k = 10,9^2 \cdot 1,33 = 158 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 50^2 \cdot 4 = 10000 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 31,5^2 \cdot 4 = 3969 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Вибраний роз'єднувач відповідає всім умовам. Вибраний вимикач задовольняє всім умовам.

Вибір короткозамикача 110 кВ.

Вибираємо короткозамикач КЗ-110УХЛ1

Таблиця 3.3 - Вибір короткозамикача 110 кВ.

Розрахункові дані	Каталожні дані
	Короткозамикач КЗ-110УХЛ1
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 101 \text{ А}$	-
$I_y = 32,77 \text{ кА}$	$I_{дин} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 158 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{мер}^2 \cdot t_{мер} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Вибраний короткозамикач задовольняє всі умови.

Приймаємо до встановлення розрядник РТФ-110-1/БУХЛ1 з $U_{ном} = 110 \text{ кВ}$.

Вибір ТС.

За такими умовами:

1. По напрузі установки: $U_{уст} \leq U_{ном}$;
2. По тривалому струму: $I_{ном} \leq I_{ном}$; $I_{max} \leq I_{ном}$;
3. По електродинамічній стійкості: $i_y \leq i_{дин}$;
4. По термічній стійкості: $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$;
5. За вторинним навантаженням: $Z_2 \leq Z_{2ном}$; $r_2 = Z_2 \leq Z_{2ном}$

Вибір ТС 110 кВ .

Вибираємо ТФЗМ – 110Б – 1 – ХЛ1.

Вибір ТС зведемо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір трансформатора струму 110 кВ.

Розрахункові дані	Каталожні дані
	ТФЗМ-110Б-1-ХЛ1
$U_{уст} = 110 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$
$I_{max} = 101 \text{ А}$	$I_{ном} = 150 \text{ А}$
$I_y = 32,77 \text{ кА}$	$I_{дин} = 41 \text{ кА}$
$B_k = 158 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 8^2 \cdot 3 = 192 \text{ кА}^2 \text{ с}$
$r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Перевіримо вибраний трансформатор струму за вторинним навантаженням.

Таблиця 3.5 - Вторинне навантаження ТС

	Тип	Навантаження, ВА, фази		
		A	B	C
Лічильник активної енергії	СА4-I 682	2.5	-	2.5
Лічильник реактивної енергії	СР4-I 682	2.5	-	2.5
Амперметр реєструючий	Н-344	-	10.0	-
Ватметр	Д-335	0.5	-	0.5
Всього		5.5	10.0	5.5

Найбільш завантажений трансформатор струму фази В.

$$r_{\text{прил}} = \frac{S_{\text{прил}}}{I_2^2} = \frac{10}{25} = 0,4 \text{ Ом}.$$

Допустимий опір проводів:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} = 1,2 - 0,4 - 0,1 = 0,7 \text{ Ом},$$

Знаючи $r_{\text{пр}}$ можна визначити переріз з'єднувальних проводів:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{r_{\text{пр}}},$$

де $\rho = 0,0283$ – питомий опір дроту, Ом / м.

$$l_{\text{розр}} = 2 \cdot l = 2 \cdot 75 = 150 \text{ м}.$$

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{розр}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 150}{0,7} = 6 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо контрольний кабель АКРВГ із жилами перетином 6 мм².

Вибраний трансформатор струму відповідає всім умовам.

Вибір трансформатора струму 10 кВ.

Вибираємо ТС ТШЛ-10-У3.

Вибір трансформатора струму 10 кВ зведемо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Вибір трансформатора струму 10 кВ.

Розрахункові дані	Каталожні дані
	ТШЛ-10-У3
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 1118 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$
$I_y = 20,14 \text{ кА}$	$I_{дин} = 25 \text{ кА}$
$B_k = 61,1 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 3675 \text{ кА}^2 \text{ с}$
$r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Перевірка проводиться аналогічно до трансформатора струму 110 кВ ТФЗМ.

Вибраний трансформатор струму відповідає всім умовам.

Вибір ТН.

Вибираємо ТН НТМК-10-71У3:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ};$$

клас точності: 0,5;

схема з'єднання обмоток: $\nabla / \nabla / \Delta - 0$

Перевіримо за вторинним навантаженням:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{прил}^2 + Q_{прил}^2}.$$

Вторинне навантаження ТН першої секції:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{прил}^2 + Q_{прил}^2} = \sqrt{96^2 + 233^2} = 252 \text{ ВА}$$

Трансформатори, з'єднані за схемою відкритого трикутника, мають потужність: $2 \cdot 75 = 150 \text{ ВА}$.

$S_{ном} < S_{2\Sigma}$, тому передбачаємо додатково встановлення двох трансформаторів НТМК-6-71У3, загальною потужністю $2 \cdot 75 = 150 \text{ ВА}$.

Повна потужність усіх встановлених на першій секції трансформаторів напруги: $150 + 150 = 300 \text{ ВА}$.

Таким чином, трансформатори напруги працюватимуть у вибраному класі точності 0,5.

Вибір ТН другої секції шин проводиться аналогічно.

Вибираємо трансформатори НТМК-10-71У3.

Таблиця 3.7 – Вторинне навантаження ТН

Прилад	Тип	Р однієї обмотки	К-сть обмоток	cosφ	sinφ	К-сть приладів	Загальна споживана потужність	
							P, Вт	Q, ВАр
Вольтметр (збірні шини)	E-3352	1	1	1,0	0,0	1	2,0	-
Лічильник активної енергії	Від 10 кВ від трансформатора	I-674	3 ВТ2	0,38	0,925	1	6,0	14,5
Лічильник реактивної енергії		I-673	3 ВТ2	0,38	0,925	1	6,0	14,5
Лічильник активної енергії	Лінії 10 кВ	I-674	3 ВТ2	0,38	0,925	7	42,0	102,0
Лічильник реактивної енергії		I-673	3 ВТ2	0,4	0,93	7	42,0	102,0
Разом							96,0	233,0

Вибраний трансформатор напруги задовольняє всім умовам.

3.3 Висновки до розділу

1. Проведено розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1000 В, на основі чого здійснено перевірку правильності вибору перерізів провідників і вибору пристроїв захисту цехових ТП.

2. Проведено вибір високовольного обладнання. Для 110 кВ вибрано: вимикач ВБУ-110-50/1000УЗ, роз'єднувач РНДЗ.2-110/630Т1, короткозамикач КЗ-110УХЛ1, розрядник РТФ-110-1/БУХЛ1, трансформатор струму ТФЗМ-110Б-1-ХЛ1. Для 10 кВ вибрано: трансформатор струму ТШЛ-10-УЗ, трансформатор напруги НТМК-10-71УЗ.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Основні причини виробничих травм та професійних захворювань

Виробничі травми та професійні захворювання поділяються на такі основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, психофізіологічні, економічні.

До організаційних причин відносяться: відсутність або неякісне проведення навчання та інструктажів з охорони праці; порушення правил, стандартів, норм, вимог інструкцій, технологічних регламентів, правил експлуатації устаткування, транспортних засобів, інструменту; недостатній технічний нагляд та контроль (або його відсутність) за небезпечними роботами; невиконання заходів з охорони праці.

Технічні причини: неспрацьованість виробничого устаткування; недосконалість виробничих процесів; конструктивні недоліки устаткування; відсутність або недосконалість технічних засобів безпеки та інше.

Санітарно-гігієнічні причини: підвищений (вище гранично допустимої концентрації) вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин; підвищені рівні шуму та вібрації; недостатнє освітлення робочих місць; несприятливі параметри мікроклімату; наявність шкідливих та небезпечних випромінювань; порушення правил особистої гігієни.

Психофізіологічні причини: монотонність праці; помилкові дії оператора внаслідок втоми через надмірну важкість виконуваної роботи; напруженість праці; необережність; невідповідність антропометричних або психофізіологічних параметрів оператора використовуваній техніці; незадоволення працею; несприятливий психофізіологічний клімат у колективі.

Економічні: низький заробіток; порушення економічних методів стимулювання праці.

4.2. Розподіл травм за ступенем тяжкості

Визначення ступеню тяжкості травм, отриманих на виробництві, проводиться з метою віднесення нещасних випадків до таких, що спричинили тяжкі наслідки, у тому числі з можливою інвалідністю потерпілого. Відповідно до “Порядку розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві” [14] за рішенням органів державного нагляду за охороною праці підлягають спеціальному розслідуванню.

1. Кваліфікуючими ознаками тяжкості травм, отриманих в результаті нещасних випадків на виробництві, є характер отриманих ушкоджень, ускладнення та наслідки, пов'язані з цими ушкодженнями.

2. За ознаками тяжкості травми розподіляються на дві категорії: тяжкі і легкі.

3. До тяжких травм відносяться:

3.1 за характером отриманих ушкоджень:

- відкрита проникаюча черепно-мозкова;
- перелом черепа;
- внутрішньочерепна травма важкого і середньо-важкого ступеню тяжкості;
- поранення, проникаючі у просвіт горла, гортані, трахеї, стравоходу, а також ушкодження щитоподібної та вилочкової залоз;
- проникаючі поранення хребта;
- ушкодження хребців шийного відділу, хребта, у тому числі і без порушення функції спинного мозку;
- нестабільні ушкодження грудних або поперекових хребців;
- закриті ушкодження спинного мозку;
- поранення грудної клітки, що проникають у плевральну порожнину, також порожнину кліткового середостіння, зокрема без ушкодження внутрішніх органів;
- поранення живота, що проникають у порожнину очеревини;

- поранення, що проникають в порожнину сечового міхура або кишечника;
- відкриті поранення органів за очеревинного простору (нирок, підшлункової залози);
- розрив внутрішнього органу грудної або черевної порожнини, або порожнини таза, заочеревинного простору, розриви діафрагми, розриви передміхурової залози, розрив сечоводу;
 - переломи заднього напівкільця таза;
 - закриті та відкриті переломи довгих кісток, кінцівок;
 - ушкодження крупних кровоносних судин;
 - термічні (хімічні) опіки;
 - електротермічні ураження;
 - відмороження III—IV ступеня, загальне охолодження організму;
 - радіаційні ураження середнього і важкого ступеня важкості;
 - переривання вагітності;
 - ушкодження периферичної нервової системи з функціональним порушенням;
 - травми органу зору, що супроводжується порушенням зору.

3.2 Травми, що супроводжуються:

- шоком будь-якого ступеня тяжкості і будь-якого генезу;
- комою різкої етіології;
- гострими серцевою, судинною, печінковою, нирковою, дихальною недостатністю;
- розладом раціонального і органного кровообігу, що призводить до інфаркту внутрішніх органів, гангрені кінцівок та інше;
- сепсисом.

3.3 Травми, які призвели до тяжких наслідків:

- втрата зору, слуху, мови;
- втрата будь-якого органу або повна втрата його функцій;
- психічні розлади;

- втрата репродуктивної здатності;
- невивправне понівечення обличчя.

4. До легких травм відносяться:

- ушкодження, що не вказані в п. 3;
- розлади здоров'я з тимчасовою втратою працездатності тривалістю до 60 днів.

Медичні працівники, що надають особі, яка постраждала, першу медичну допомогу не видають висновку про тяжкість ушкодження. До їх компетенції належить визначення характеру подальшого лікування потерпілого (амбулаторне або стаціонарне), а також констатація летального результату.

Медичний висновок про ступінь тяжкості виробничої травми дають на запит роботодавця та/або голови комісії з розслідування нещасного випадку на виробництві лікарсько-експертні комісії (ЛКК) лікувально-профілактичного закладу, де здійснюється лікування особи, що постраждала, в строк до 1 доби з моменту надходження запиту.

4.3 Дія електричного струму на персонал, що експлуатує об'єкти енергетики. Перша допомога при електротравмах

Небезпека ураження струмом може чекати людину як вдома, так і на вулиці. Виявити пошкоджений або оголений провід, що знаходиться під напругою дуже важко – ні за звуком, ні за запахом, ні візуально провід під напругою не відрізняється від того, який не заживлений у мережі. Тому вкрай необхідно пам'ятати правила електробезпеки, щоб уникнути травматизму.

Людина, яка піддається дії струму, не може покликати на допомогу та самостійно звільнитись від предмету, через який її ударило струмом. Дотик до струмопровідних частин у більшості випадків призводить до судом м'язів, які обмежують здатність рухатись чи говорити. Як правило, про те, що людина у небезпеці свідчить її несподіване падіння на вулиці або неприродне відкидання від джерела струму невидимою силою, раптова втрата свідомості, судоми,

яскраво виражене мимовільне скорочення м'язів, опіки на тілі з різко окресленими межами.

При ураженні електричним струмом в першу чергу потрібно звільнити потерпілого від струмопровідних частин обладнання. Необхідно швидко відключити від мережі ту частину електрообладнання, до якої доторкається людина. Будь-яке зволікання при наданні допомоги призводить до загибелі людини, яка знаходиться під дією струму. При звільненні потерпілих від струмопровідних частин або проводу вимикають струм, використовуючи сухий одяг, палицю, дошку, шапку, сухі рукавиці, рукав одягу, діелектричні рукавиці. Провідники перерізають інструментом з ізольованими ручками, перерубують сокирою з дерев'яним сухим топорищем.

Потерпілого можна відтягнути від струмопровідних частин за сухий одяг. При цьому, людина, яка відтягує потерпілого повинна уникати дотику до навколишніх металевих предметів та до відкритих частин тіла потерпілого. Відтягуючи потерпілого за ноги, не можна торкатися його взуття, оскільки воно може бути сирим і стає провідником електричного струму. Той, хто надає допомогу, повинен одягнути діелектричні рукавиці або обмотати руки шарфом, натягнути на них рукав піджака або пальта. Можна також ізолювати себе, ставши на гумовий килимок, суху дошку тощо.

Після звільнення потерпілого від дії струму потрібно відразу ж надати йому першу медичну допомогу.

Негайно сповістіть службу екстреної медичної допомоги.

Почніть серцево-легеневу реанімацію у будь-якої людини, що не подає ознак життя.

Якісний непрямий масаж серця (якомога швидше починайте виконувати непрямий масаж серця, виконуйте натискання у нижній половині грудини («в центрі грудної клітки»)), натискайте на глибину не менше 5, але не більше 6 см, натискайте на грудну клітку зі швидкістю 100–120 натисків/хв з якомога меншою кількістю переривань, дайте грудній клітці повністю випрямитися

після кожного стиснення; не спирайтеся на груди (грудну клітку); виконуйте натискання на грудну клітку на твердій поверхні.

Штучне дихання (чергуйте 30 натискань та 2 вдихи; якщо ви не можете забезпечити штучну вентиляцію легень, виконуйте безперервне натискання на грудну клітку).

Автоматичний зовнішній дефібрилятор (як тільки АЗД надійде (буде доступний), або якщо такий вже є на місці, де наявний постраждалий з зупинкою серця, увімкніть його; прикріпіть електродні прокладки (наліпки) до оголеної грудної клітки постраждалого відповідно до положення, вказаного на АЗД або на прокладках (наліпках); дотримуйтесь голосових (та/або візуальних) підказок АЗД).

Лікаря необхідно викликати незалежно від того чи притомний потерпілий. Номер телефону швидкої допомоги – 103. Якщо потерпілий після звільнення від дії електричного струму і надання медичної допомоги прийшов до тями, його не слід самого відпускати додому. Над таким потерпілим встановлюють спостереження у лікарні, так як наслідки від впливу електричного струму можуть проявитися через кілька годин і призвести до більш важких наслідків.

Комплекс цих заходів, виконаних вчасно та якісно, дозволить врятувати життя людині, яку вразило струмом. Але краще все таки не допускати ураження струмом. Для цього важливо пам'ятати, що краще триматись осторонь електрообладнання та ліній електропередач у дощову погоду, не намагатись самостійно ремонтувати домашню електромережу, не користуватись зламаними електроприладами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Визначено розрахункові навантаження текстильного комбінату: розрахункова активна потужність з урахуванням освітлення цехів та території текстильного комбінату становить 882 кВт, реактивна потужність – 899,6 кВАр, повна потужність – 1259,8 кВА.
2. Побудована картограма електричних навантажень, а також визначено центр електричних навантажень та місце розташування головної понижаючої підстанції.
3. Проведено вибір числа та потужності трансформаторів цехових підстанцій напругою 10/0,4 кВ. Вибрано вісім двохобмоткових масляних трансформаторів типу *ТМЗ* – 1600/10/0,4. Проведено розрахунок втрат потужності в силових трансформаторах.
4. Проведено розрахунок компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ цехових ТП. Вибрано КБ типу УКМ-58-04 різної потужності.
5. Прийнято напругу лінії живлення ГПП 110 кВ. Вибрано два силових трансформатори типу *ТДН* – 16000/110 для установки на ГПП. Прийнято переріз ліній живлення 70 мм^2 , допустимий струм - $I_{\text{дон}} = 265 \text{ А}$. Запропонована схема внутрішньозаводської розподільчої мережі.
6. Проведено розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1000 В, на основі чого здійснено перевірку правильності вибору перерізів провідників і вибору пристроїв захисту цехових ТП.
7. Проведено вибір високовольтного обладнання. Для 110 кВ вибрано: вимикач ВБУ-110-50/1000УЗ, роз'єднувач РНДЗ.2-110/630Т1, короткозамикач КЗ-110УХЛ1, розрядник РТФ-110-1/БУХЛ1, трансформатор струму ТФЗМ-110Б-1-ХЛ1. Для 10 кВ вибрано: трансформатор струму ТШЛ-10-УЗ, трансформатор напруги НТМК-10-71УЗ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Іваніга О.Й. Розрахунок електричного навантажень. / І.М. Сисак, О.Й. Іваніга, С.В. Любка, Ю.І. Джуган // Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 6-7 грудня 2023. — Т : ТНТУ, 2022, ст. 242.
2. Сисак І.М. Електропостачання промислових і муніципальних об'єктів [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1748): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011. – Режим доступу: <https://dl.tntu.edu.ua/index.php>.
3. В.Я. Решетник, І.М. Сисак. Конспект лекцій з дисципліни “Електричні системи та мережі” спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Тернопіль: ТНТУ. - 2016.- 152 с.
4. Маліновський А.А., Хохулін Б.К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с.
5. Сисак І.М. Електричні системи та мережі [електронний ресурс]: //Інституційний репозитарій Atutor (код дисципліни ID 1747): офіційний сайт Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя – Тернопіль, 2011.
6. Бабюк, Сергій Миколайович, К. М. Клебан, and В. В. Танасійчук. "Шляхи підвищення надійності електропостачання." Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “ (2021): 5-6.
7. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи: Підручник. – 2-ге вид. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 488 с.
8. Правила улаштування електроустановок. / Міненерго вугілля України, - К., 2017.

9. Р.Б. Волосинецький. Підвищення надійності та пропускної здатності трансформаторних підстанцій. /В.О. Купчик, Т.Т. Сердюк, Г.І. Головачук, Р.Б. Волосинецький, Л.Т. Мовчан, І.М. Сисак.// Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 7-8 грудня 2022. — Т : ТНТУ, 2022.

10. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 149 с.

11. Романюк Ю.Ф. Електричні системи та мережі: Навч. посіб. – К.: Знання, 2007. – 292 с. – (Вища освіта XXI століття).

12. Н.В. Бабанін. Вибір трансформаторів підстанцій за навантажувальною здатністю. / Н.В. Бабанін, А.В. Гапонюк, О.М. Максимчук, І.М. Сисак// Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 16–17 листоп. 2017.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – С.89.

13. Буняк О. А.; Курочкін, Д. О. Забезпечення системи гарантованого електропостачання підприємства. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 2017, 3: 93-93.

14. Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/337-2019-%D0%BF#Text>