

## РЕФЕРАТ

Коневич М. Р. Забезпечення надійної роботи системи електропостачання заводу металопластикових вікон. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, гр. ЕЕд-2.

Стор.– 75; рис. 12; табл. - 18; креслень - 6; джерел - 20; додатків \_.

В даній роботі здійснено розробку та впровадження заходів забезпечення надійної роботи системи електропостачання заводу металопластикових вікон.

В результаті була спроектована схема електропостачання від підстанції енергосистеми, до кінцевого електроприймача. Були вибрані кабелі і дроти, комутаційне обладнання, були зроблені необхідні перевірки.

Основні характеристики: схема електропостачання складається з кабельних і повітряних ліній електропередачі. У високовольтній мережі застосовуються вакуумні вимикачі, в низьковольтній мережі автоматичні вимикачі. Повітряні лінії розташовуються на опорах, кабельні - у лотках. Схема проста в експлуатації і надійна по мірі безперебійності живлення. Схема придатна до експлуатації.

Значущість проектування схеми електропостачання дуже висока, оскільки від правильної її роботи залежить робота усього підприємства і населених пунктів.

Перелік ключових слів: ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧ, НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, МЕРЕЖА, НАВАНТАЖЕННЯ, ЗАХИСТ.

**ЗМІСТ**

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Відомості про підприємство	8
1.2 Облік електричної енергії	13
1.5 Висновки до розділу 1	16
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Визначення розрахункового навантаження цеху екструзійних виробів	18
2.1.1 Розподіл приймачів по пунктах живлення	18
2.1.2 Визначення розрахункового навантаження цеху	18
2.1.3 Визначення розрахункового навантаження підприємства	22
2.1.4 Картограма і визначення центру електричних навантажень	26
2.2 Вибір числа і потужності цехових трансформаторів	28
2.3 Компенсація реактивної потужності	29
2.4 Складання схеми зовнішнього електропостачання	30
2.5 Вибір потужності силових трансформаторів на ГПП	32
2.6 Вибір перетину лінії, яка живить ГПП	34
2.7 Схема внутрішньозаводської мережі вище 1000 В	36
2.8 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1 кВ	38
2.9 Висновки до розділу 2	42
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	43
3.1 Вибір вимикачів і роз'єднувачів	43
3.2 Вибір вимірювальних трансформаторів струму	44
3.3 Вибір вимірювальних трансформаторів напруги	47
3.4 Електропостачання цеху	49
3.5 Вибір захисних апаратів і перетинів живильних ліній	49
3.6 Побудова епюри відхилення напруги	53

	5
3.7 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ	56
3.8 Побудова карти селективності дії апаратів захисту	59
3.9 Перевірка цехової мережі 0,4 кВ за умовою спрацьовування захисту від однофазного КЗ	59
3.10 Призначення РЗіА	62
3.11 Захист трансформатора	62
3.12 Струмові захисти трансформатора від зовнішніх від коротких замикань	63
3.13 Висновки до розділу 3	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	65
4.1 Вимоги виробничої санітарії	65
4.2 Заходи з пожежної безпеки	69
4.3 Заходи передбачені під час надзвичайних ситуацій	71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогодні стабільність і надійність роботи системи електропостачання підприємства є базовим завданням енергетики. Особливо це важливо для підприємств з присутністю різних рівнів напруги та великим об'ємом двигунного навантаження, оскільки навіть невеликі порушення в системі зовнішнього електропостачання призводять до значних збитків у безперервному технологічному процесі [1].

Особливістю роботи підприємства з виготовлення пластикових вікон є зміна його виробничої потужності – відключення окремих виробництв, ділянок, агрегатів в залежності від потреб замовників. Тому, до оцінки надійності необхідно підходити комплексно: від побудови гнучкої системи зовнішнього/внутрішнього електропостачання з оптимальним розподіленням потужності цехових трансформаторів до надійності спрацювання релейного захисту при виконанні ряду перемикачів ланок живлення.

Тому при забезпеченні надійності необхідно дослідити вказані вище аспекти на різних рівнях напруги з врахуванням аналізу втрат.

**Мета та завдання дослідження.** Основною метою кваліфікаційної роботи є забезпечення надійності системи електропостачання підприємства на різних рівнях напруги.

Відповідно до цього необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати методи забезпечення надійності підприємства на основі діючої системи електропостачання;
- розрахувати електричні навантаження на всіх рівнях напруги підприємства;
- обґрунтувати правильно вибрану кількість числа та потужність цехових трансформаторів із розробкою оптимальної схеми зовнішнього електропостачання;
- обґрунтувати необхідність компенсації реактивної потужності та провести вибір конденсаторних установок;

– провести вибір пристроїв релейного захисту й захисного обладнання на всіх ланках напруги схиляючись на розрахунки струмів К.З.;

**Об’єкт дослідження.** Процеси електропостачання та електроспоживання підприємств.

**Предмет дослідження.** Забезпечення надійності електропостачання підприємства з виготовлення пластикових вікон.

**Наукова новизна.**

Дістало подальше застосування та розвиток комплексного підходу забезпеченні надійності роботи системи електропостачання на різних рівнях напруги.

**Практичне значення результатів.** Запропоновані схемні реалізації системи електропостачання підприємства з виготовлення пластикових вікон дозволить забезпечити надійність роботи агрегатів різних рівнів напруги.

**Апробація.**

Положення та результати досліджень по темі дипломної роботи представлені на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (24-25 листопада 2021 року), Тернопіль, Тернопільський національний університет імені Івана Пулюя.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Відомості про підприємство

Монтаж вікон ПВХ здійснюється з 2010 року, а в 2013 компанія побудувала власний виробничий комплекс.

Основним напрямом роботи компанії залишається виробництво і монтаж пластикових вікон.

Постійно відстежуючи тенденції ринку виробництва і монтажу вікон в Україні, компанія готова запропонувати оптимальне співвідношення ціни і якості. Використання у виробництві сучасних технологій дозволяє скоротити термін виготовлення і якнайшвидше виконати замовлення.

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження, ступеня надійності і середовищі виробничих приміщень

№ п/п	Найменування об'єкта	К-ть змін	Категорія ЕП	Встановлена потужність, кВт
1	Цех екструзійних виробів	2	II	—
2	Цех по очистці і ремонту філерів	2	III	350
3	Цех по ремонту основного обладнання	2	III	850
4	Цех по ремонту допоміжного обладнання	2	III	650
5	Зварювальна дільниця	2	III	450
6	Термічний цех	2	II	650
7	Електроерозійний цех	2	II	800
8	Склад готової продукції	2	III	220
9	Компресорна	2	II	—
	0,38 кВ			450
	6,0 кВ АД 2 × 630 кВт			1260
10	Адміністративна будівля	2	III	275

Генплан підприємства представлений на рис 1.1.

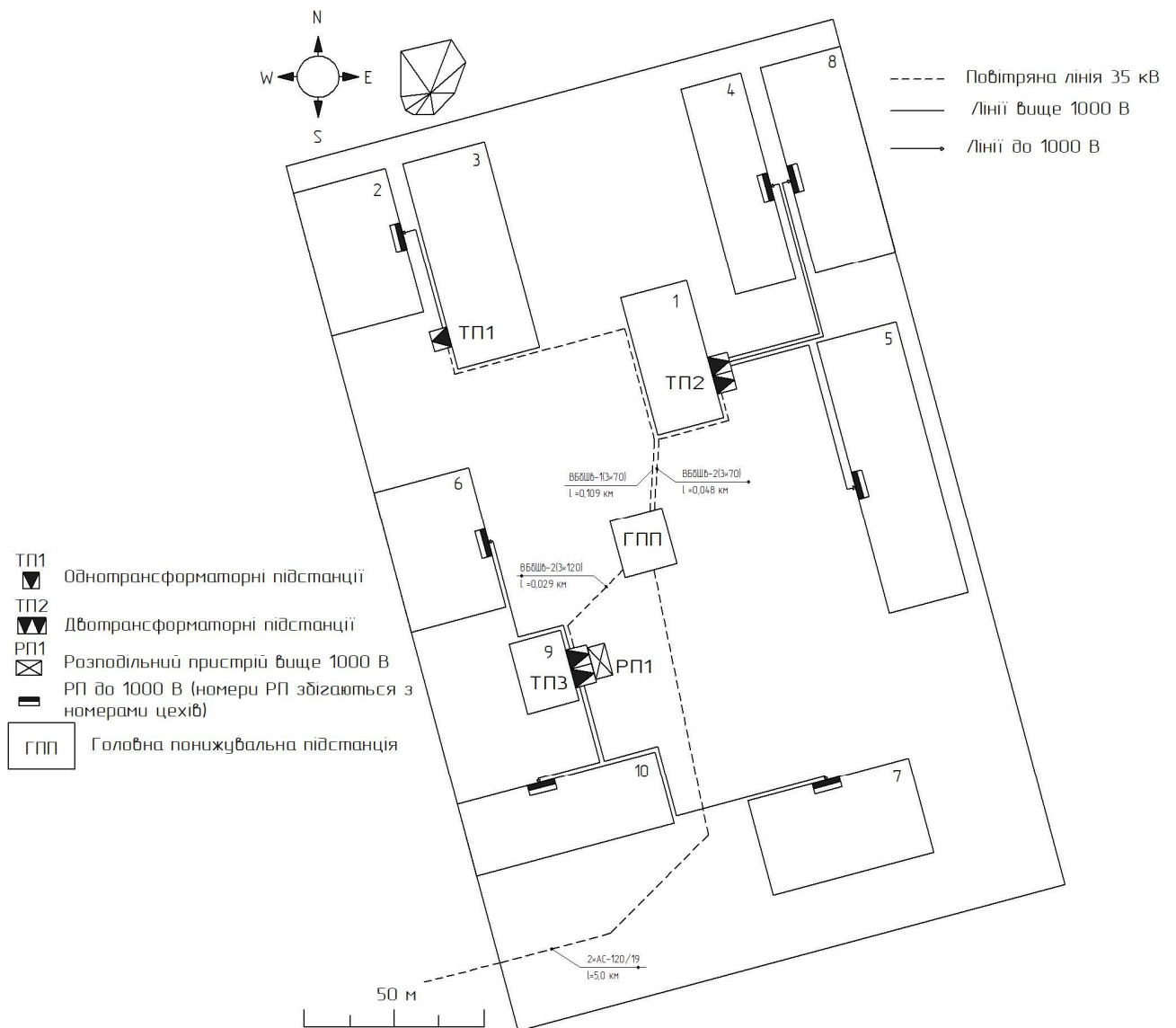


Рисунок 1.1 – Генеральний план підприємства

Таблиця 1.2 – Розширене електричне навантаження цеху екструзійних виробів

№ П/П	Найменування	$P_{вст},$ кВт	$K_{внк}$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$\eta$	$K_{пуск}$	$I_{ном},$ А	$I_{пуск},$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Калібрувальний стіл	26.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	51.6	258.2
2	Калібрувальний стіл	15.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	29.8	149.0
3	Калібрувальний стіл	6.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	11.9	59.6
4	Калібрувальний стіл	26.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	51.6	258.2
5	Калібрувальний стіл	15.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	29.8	149.0
6	Калібрувальний стіл	6.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	11.9	59.6
7	Калібрувальний стіл	26.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	51.6	258.2

продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Калібрувальний стіл	15.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	29.8	149.0
9	Калібрувальний стіл	6.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	11.9	59.6
10	Розтягуючий пристрій	18.5	0.55	0.80	0.75	0.89	5	39.5	197.4
11	Розтягуючий пристрій	12.3	0.55	0.80	0.75	0.89	5	26.2	131.2
12	Розтягуючий пристрій	5.2	0.55	0.80	0.75	0.89	5	11.1	55.5
13	Розтягуючий пристрій	18.5	0.55	0.80	0.75	0.89	5	39.5	197.4
14	Розтягуючий пристрій	12.3	0.55	0.80	0.75	0.89	5	26.2	131.2
15	Розтягуючий пристрій	5.2	0.55	0.80	0.75	0.89	5	11.1	55.5
16	Розтягуючий пристрій	18.5	0.55	0.80	0.75	0.89	5	39.5	197.4
17	Розтягуючий пристрій	12.3	0.55	0.80	0.75	0.89	5	26.2	131.2
18	Розтягуючий пристрій	5.2	0.55	0.80	0.75	0.89	5	11.1	55.5
19	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
20	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
21	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
22	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
23	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
24	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
25	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
26	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
27	Екструдер	22.5	0.60	0.85	0.62	0.89	5	45.2	225.9
28	Вентилятор	4.5	0.65	0.80	0.75	0.89	5	9.6	48.0
29	Вентилятор	4.5	0.65	0.80	0.75	0.89	5	9.6	48.0
30	Змішувач	35.0	0.70	0.85	0.62	0.89	5	70.3	351.5
31	Змішувач	35.0	0.70	0.85	0.62	0.89	5	70.3	351.5
32	Змішувач	35.0	0.70	0.85	0.62	0.89	5	70.3	351.5
33	Змішувач	35.0	0.70	0.85	0.62	0.89	5	70.3	351.5
34	Вентилятор	6.0	0.65	0.80	0.75	0.89	5	12.8	64.0
35	Вентилятор	6.0	0.65	0.80	0.75	0.89	5	12.8	64.0
36	Насосна станція	15.0	0.70	0.80	0.75	0.89	5	32.0	160.0
37	Калібрувальний стіл	26.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	51.6	258.2
38	Калібрувальний стіл	15.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	29.8	149.0
39	Калібрувальний стіл	6.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	11.9	59.6
40	Калібрувальний стіл	26.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	51.6	258.2
41	Калібрувальний стіл	15.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	29.8	149.0
42	Калібрувальний стіл	6.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	11.9	59.6
43	Калібрувальний стіл	26.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	51.6	258.2



продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
44	Калібрувальний стіл	15.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	29.8	149.0
45	Калібрувальний стіл	6.0	0.55	0.85	0.62	0.90	5	11.9	59.6
46	Розтягуючий пристрій	18.5	0.55	0.80	0.75	0.89	5	39.5	197.4
47	Розтягуючий пристрій	12.3	0.55	0.80	0.75	0.89	5	26.2	131.2
48	Розтягуючий пристрій	5.2	0.55	0.80	0.75	0.89	5	11.1	55.5
49	Розтягуючий пристрій	18.5	0.55	0.80	0.75	0.89	5	39.5	197.4
50	Розтягуючий пристрій	12.3	0.55	0.80	0.75	0.89	5	26.2	131.2
51	Розтягуючий пристрій	5.2	0.55	0.80	0.75	0.89	5	11.1	55.5
52	Розтягуючий пристрій	18.5	0.55	0.80	0.75	0.89	5	39.5	197.4
53	Розтягуючий пристрій	12.3	0.55	0.80	0.75	0.89	5	26.2	131.2
54	Розтягуючий пристрій	5.2	0.55	0.80	0.75	0.89	5	11.1	55.5
55	Холодильна машина	22.0	0.60	0.80	0.75	0.89	5	46.9	234.7
56	Установка водопідгонки	40.0	0.60	0.80	0.75	0.89	5	85.4	426.8

План цеху з розташуванням електричного обладнання представлений на рис. 1.2.

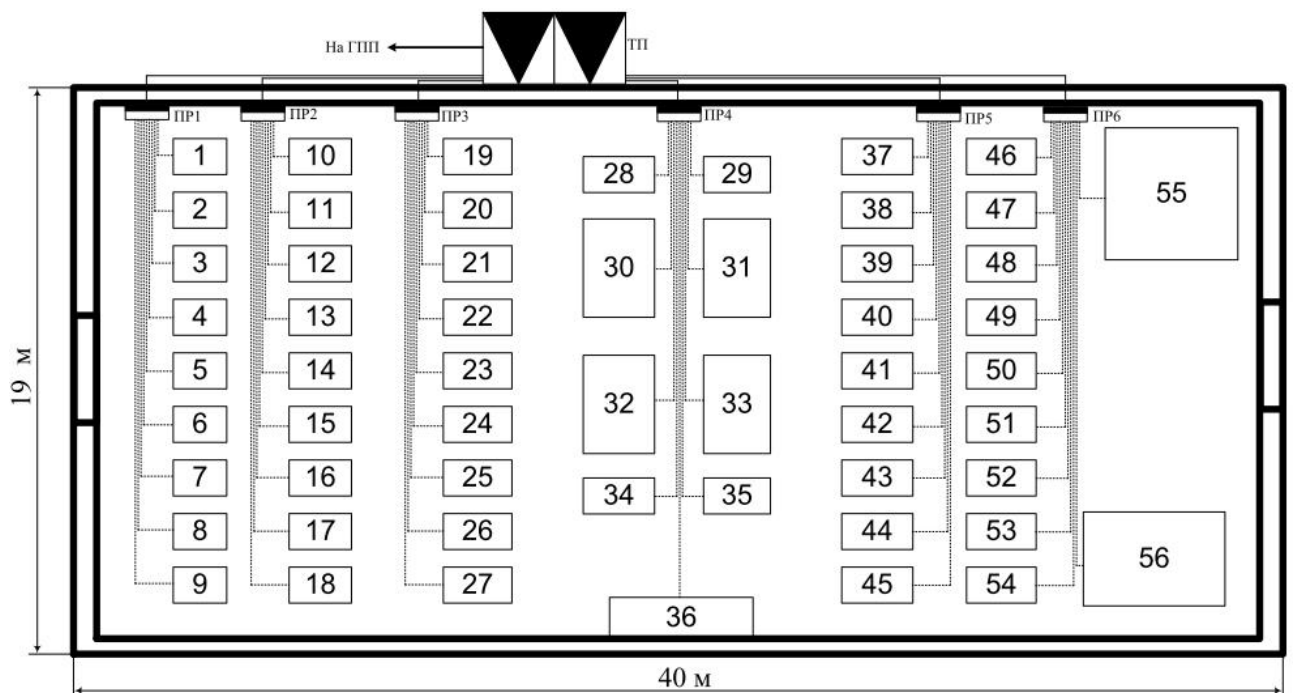


Рисунок 1.2 План цеху з розташуванням електричного обладнання

## 1.2 Облік електричної енергії

Щоб приєднати вимірювальні прилади використовують трансформатори струму класу точності 0,2; для лічильників грошового розрахунку - 0,5; для всіх технічних вимірювальних приладів - 1, для релейного захисту - 3 і 10.

Велику роль відіграє точність вимірювання спожитої електроенергії, оскільки питання економічної і раціональної витрати електроенергії займають одну з найбільш важливих ролей на підприємствах. Головною умовою щодо вирішення питань такого характеру є організація якісного і доступного обліку електроенергії. В якості такої системи використаємо автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Комерційний облік електричної енергії (потужності) – процес вимірювання кількості електричної енергії та визначення обсягу потужності, збору, зберігання, обробки, передачі результатів цих вимірювань та формулювання, в тому числі розрахунковим шляхом, даних про кількість виробленої та необхідної електричної енергії (потужності) для цілей взаєморозрахунків за поставлену електричну енергію та потужність.

Системи енергозбереження дозволяють виробляти облік споживання електроенергії та тепла на об'єктах житлового, комерційного та виробничого призначення. Системи можуть врахувати споживання енергоресурсів на рівні будинку, районів, міста, населеного пункту з єдиним диспетчерським та фінансовим центром.

В системі загального обліку витрати електроенергії на промисловому підприємстві важливе місце займає технічний облік, тобто контроль витрати електроенергії по цехах, енергоємним агрегатів і лініях. Технічний облік дозволяє здійснювати контроль за дотриманням режимів електроспоживання і є основою для складання електробалансу на промисловому підприємстві. Наявність такого обліку дозволяє визначити питому витрату електроенергії на різні види продукції, що випускається.

Основними функціями АСКОЕ є:

-безперервне зчитування лічильників електроенергії пристроєм збору даних;

-дистанційний запис тарифних розкладів в прилади обліку по відкладених завданнях;

- автоматична корекція поточного часу для кожного лічильника за внутрішнім годинником сервера збору даних;

-зберігання дати і часу початку експлуатації;

-можливість дистанційного відключення навантаження;

-організація прозорого каналу зв'язку для роботи з лічильниками за допомогою конфігураційного програмного забезпечення;

-визначення та реєстрація фактів безоблікового споживання електроенергії в системі, на основі відомості балансів відпущеної і спожитої енергії за інтервали часу;

-передача даних про спожиту електроенергію в білінгові системи;

-технічний облік витрати електроенергії.

Впровадження АСКОЕ дозволяє автоматизувати облік, домогтися його максимальної точності, отримати аналітичну інформацію, яка необхідна для розробки та коригування програм енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності. Ці дані прийнято називати «показами АСКОЕ».

Система є раціональним рішенням для:

-підвищення точності обліку електроенергії;

-зниженням споживаної потужності на підприємстві в години пікових навантажень енергосистеми;

-переходу на розрахунок за електроенергію з енергосистемою за диференційованими тарифами;

-контролю за якістю електроенергії.

Поширеним на сьогоднішній день є організація зв'язку між точками обліку і УСПД (пристрій збору і передачі даних) за допомогою зв'язку RS-485, PLC (зв'язок по силовій мережі) і RF (радіо зв'язок), які часто використовуються як дублюючі основного каналу зв'язку.

На даному підприємстві використовується організація системи АСКОЕ із застосуванням РСL.

У разі застосування в системі АСКОЕ інтерфейсу РСL встановлені прилади обліку об'єднуються в єдину мережу (або в декілька незалежних одна від одної мереж) по засобах каналу РСL. Замикаючою і ключовою ланкою такої мережі може бути GSM / GPRS комунікатор, який передає дані на сервер, де вони обробляються і зберігаються.

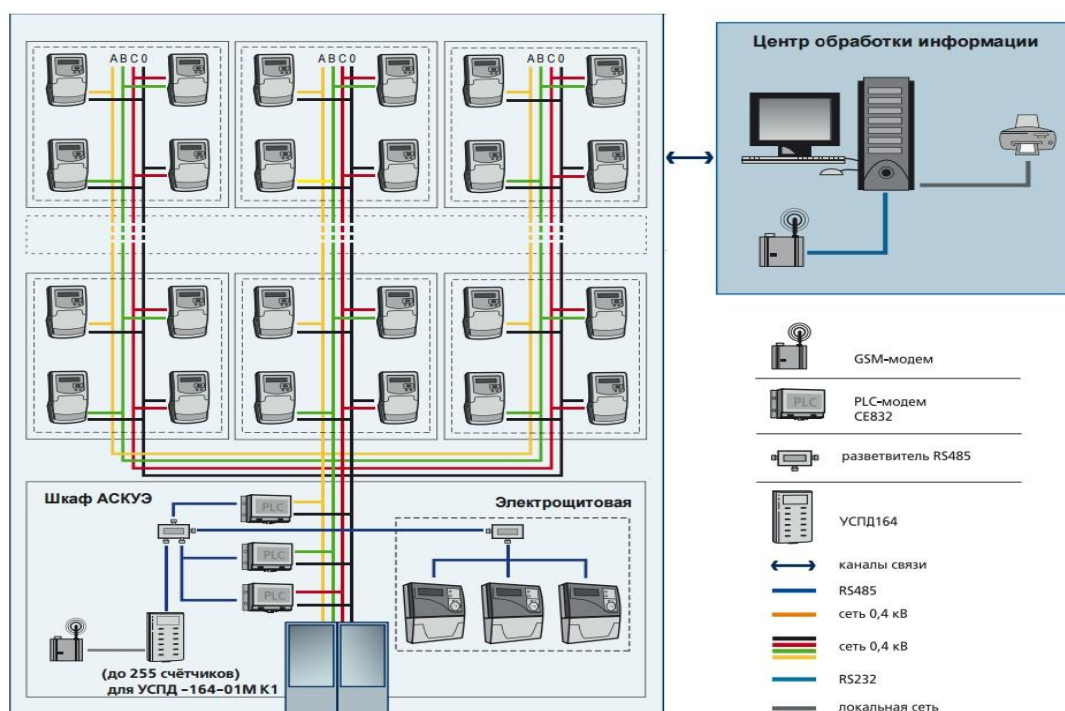


Рисунок 1.3 – Структурна схема АСКОЕ за засобами зв'язку каналу РСL

У разі використання зв'язку з засобом РСL технологій, контроль споживання електроенергії здійснюється безпосередньо по самій розподільній силовій мережі 0,4 кВ, тобто для зв'язку УСПД з точками обліку не використовується ніяких додаткових каналів зв'язку, що тягне за собою зниження собівартості точки обліку. За ідеальних умов і відсутності більшої кількості перешкод в силовій мережі споживача швидкість обміну даних по силовій мережі можна досягти до 10-15 Мб/сек.

У разі застосування проводки з алюмінію, а не з міді, відбувається більш швидке загасання сигналу і насправді швидкість передачі інформації по силовій мережі значно знижується, але найчастіше її вистачає для виконання основних завдань АСКОЕ.

На даний момент більш обґрунтованим є застосування технологій PLC передачі даних ніж організація зв'язку між точками обліку і УСПД за допомогою, наприклад, RS-485 інтерфейсу. Незважаючи на те, що технологія PLC поступається в швидкості передачі даних її вистачає на виконання основних завдань системи АСКОЕ, а також вартість монтажу та обслуговування точки обліку при використанні PLC технології значно менше, тому що часто прокладка додаткового каналу зв'язку в точку обліку електроенергії просто неможлива або занадто дорога.

### **1.3 Висновки до розділу 1**

1. На основі особливостей технологічних процесів підприємства показано необхідність комплексного підходу щодо застосування технічних засобів забезпечення надійності.

2. Проведено короткий аналіз діяльності підприємства.

3. Подано ідомості про електричні навантаження, ступеня надійності і середовища виробничих приміщень.

4. Накреслено генеральний план підприємства із картограмою навантажень

5. Подано відомості про електричні навантаження, та накреслено план цеху екструзійних виробів з розташуванням електричного обладнання.

5. Розглянуто питання обліку електричної енергії.

## 2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Розрахунок навантаження цеху екструзійних виробів

#### 2.1.1 Розподіл приймачів по пунктах живлення

Розподіл здійснюється через підключення певної кількості електроприймачів до розподільного пункту ПР.

Розподільні пункти встановлюються по можливості в центрі електричних навантажень споживачів, які до нього підключені, та зберігаючи мінімальну відстань до споживачів. Це дозволить уникнути надмірної протяжності проводів та зменшивши втрати у них.

Живлення окремих споживачів і РП здійснюємо радіальними лініями, які відкрито прокладені в лотках на стіні. Така схема забезпечує потрібний ступінь надійності живлення споживачів і необхідну технологічними умовами гнучкість та універсальність мережі щодо приєднання нових приймачів і переміщення їх по площі цеху.

Як РП приймаємо розподільні пункти марки ПР11-7123. Розрахований такий РП на кількість відхідних ліній до 12 шт.

На рис. 1.2. зображений план цеху з розташуванням ПР і живлення від нього електроприймачів.

#### 2.1.2 Визначення розрахункового навантаження цеху

Щоб правильно вибрати перетин захисних та комунікаційних апаратів з кабельними лініями, розрахуємо електричні навантаження цеху. Використаємо для цього метод коефіцієнта максимуму.

Потужності споживачів, які наводяться у паспорті обладнання з повторно-короткочасним режимом роботи (ПКР) наводяться до  $P_{\text{ПВ}} = 100\%$  , тобто до номінальної встановленої потужності.

Сумарна номінальна потужність призначається до кожної групи (для прикладу група "А" ПР6):

$$P_{\text{НОМ.}\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_{\text{НОМ.}i} = 108,0 \text{ кВт} \quad (2.1)$$

Коефіцієнт використання  $K_v$ ,  $\cos\varphi$ ,  $\text{tg}\varphi$ , для кожного споживача чи групи споживачів отримується за довідковими даними [1, стор. 19, табл. 1.7].

За час найзавантаженішої зміни для споживачів, середня реактивне і активне навантаження (для прикладу тягнучих пристроїв)

$$P_{\text{сз}} = K_v \cdot P_{\text{НОМ.}\Sigma} = 0,55 \cdot 108,0 = 59,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{сз}} = P_{\text{сз}} \cdot \text{tg}\varphi = 59,4 \cdot 0,75 = 44,6 \text{ кВАр},$$

де  $P_{\text{НОМ}}$  - сумарна номінальна активна потужність електроприймачів ;

$K_v$  - коефіцієнт використання активної потужності ;

$\text{tg}\varphi$  - приймається за відповідним значенням коефіцієнта потужності .

Для окремої групи споживачів підводиться сума за середньозмінним активним і реактивним навантаженням для всієї групи (на прикладі група "А"):

$$P_{\text{сз}}^{\text{"А"}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{сз.}i} = 59,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{сз}}^{\text{"А"}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{сз.}i} = 44,6 \text{ кВАр}$$

Діапазон величини модуля силової збірки:

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.max}}}{P_{\text{НОМ.min}}} = \frac{18,5}{5,2} = 3,6 > 3$$

Визначення середнього коефіцієнта використання по групі :

$$K_{i,\text{ср}} = \frac{P_{\text{сз}}^{\text{"А"}}}{P_{\text{НОМ.}\Sigma}} = \frac{59,4}{108,0} = 0,55$$

Середнє значення коефіцієнта реактивної потужності :

$$\text{tg}\varphi_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{сз}}^{\text{"А"}}}{P_{\text{сз}}^{\text{"А"}}} = \frac{44,6}{59,4} = 0,75$$

Визначимо число ефективних споживачів для групи "А"

$$n_E = \frac{[P_{\text{НОМ.}\Sigma}]^2}{\sum P_{\text{НОМ}}^2} = \frac{108,0^2}{1561,7} = 7,5 \text{ шт}$$

Заокруглюємо та приймаємо 7 штук.

Коефіцієнт максимуму активної потужності [2, стор. 28, табл. 2.1]:

$$K_M = 1,51.$$

Коефіцієнт максимуму реактивної потужності:

$$K'_M = 1,1.$$

Розрахункові активна і реактивна максимальні потужності пункту:

$$P_M^{\text{"А"}} = K_M \cdot P_{\text{СЗ}}^{\text{"А"}} = 1,51 \cdot 59,4 = 88,9 \text{ кВт},$$

$$Q_M^{\text{"А"}} = K'_M \cdot Q_{\text{СЗ}}^{\text{"А"}} = 1,1 \cdot 44,6 = 49,0 \text{ кВАр}$$

До споживачів групи "Б", графік навантаження яких є постійним, розрахункова реактивна та активна потужність береться рівною середній за найзавантаженішу зміну:

$$P_M^{\text{"Б"}} = P_{\text{СЗ}}^{\text{"Б"}} = 37,2 \text{ кВт}$$

$$Q_M^{\text{"Б"}} = Q_{\text{СЗ}}^{\text{"Б"}} = 27,9 \text{ кВАр} \quad .$$

Визначимо активну, реактивну і повну максимальні потужності споживачів пункту:

$$P_M = P_M^{\text{"А"}} + P_M^{\text{"Б"}} = 89,9 + 37,2 = 102,4 \text{ кВт},$$

$$Q_M = Q_M^{\text{"А"}} + Q_M^{\text{"Б"}} = 49,0 + 27,9 = 76,9 \text{ кВАр},$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{127,1^2 + 76,9^2} = 148,5 \text{ кВА}$$

Визначення розрахункового струму пункту :

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{148,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 225,7 \text{ А} \quad (2.7)$$

де  $U_{\text{НОМ}}$  - номінальна напруга електроприймачів, В.

За питомою густиною освітлювального навантаження і площі цеху, визначимо номінальне навантаження освітлювальних приймачів цеху :



$$P_{ном.о} = P_{пит.о} \cdot F_{ц} = 0,016 \cdot 760 = 12,2 \text{ кВт},$$

де  $F_{ц}$  – площа цеху, м<sup>2</sup>;

$P_{пит.о}$  – питома густина освітлювального навантаження [1, ст. 22, табл. 1.11], кВт/м<sup>2</sup>.

Розрахункове навантаження освітлювальних приймачів цеху:

$$P_{розр.о} = K_{со} \cdot P_{ном.о} = 0,95 \cdot 12,2 = 11,6 \text{ кВт},$$

де  $K_{со}$  – коефіцієнт попиту виробничих будівель, які складаються з окремих великих прольотів [1, стор. 22, табл. 1.10].

Визначення розрахункового навантаження цеху враховуючи освітлення:

$$S_M = \sqrt{(P_M + P_{розр.о})^2 + Q_M^2} = \sqrt{(695,2 + 11,6)^2 + 358,8^2} = 805,2 \text{ кВА}$$

Визначення розрахункового струму цеху:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{805,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1223,4 \text{ А}$$

де  $U_{ном}$  – номінальна напруга споживачів, В.

Визначення пікового струму цеху.

Номінальний струм найпотужнішого електроприймача (насос):

$$I_{ном}^{max} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{40,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,80 \cdot 0,89} = 85,4 \text{ А},$$

де  $P_{ном}$  - номінальна активна потужність електроприймача, кВт;

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії даного споживача.

Пусковий струм найпотужнішого споживача:

$$I_{пуск}^{max} = K_{пуск} \cdot I_{ном}^{max} = 5 \cdot 85,4 = 426,8 \text{ А} \quad (2.10)$$

де  $K_{пуск}$  – кратність пускової енергії.

Піковий струм цеху

$$I_{пик.ц} = I_{пуск}^{max} + (I_M - K_{и.мах} \cdot I_{ном}^{max}) = 426,8 + (1223,4 - 0,60 \cdot 85,4) = 1598,9 \text{ А},$$

де  $K_{и.мах}$  – коефіцієнт використання найпотужнішого електроприймача.

### 2.1.3 Розрахунок навантаження підприємства

Розрахунок електричних навантажень проводиться за коефіцієнтом попиту та встановленою потужністю [3].

Розрахункове навантаження (тобто активна і реактивна потужності) силових приймачів цехів (окрім розглянутих) визначаються із таких співвідношень:

$$P_p = K_c \cdot P_{вст},$$

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

де  $P_p$ ,  $Q_p$  - сумарні активна і реактивна потужності приймачів цеху;

$K_c$  - коефіцієнт попиту [1, стор. 13, табл. 1.6];

$\operatorname{tg}\varphi$  - відповідно значенням коефіцієнта потужності.

Розрахунок освітлювального навантаження цехів проводиться ідентично розрахунку освітлювального навантаження розрахованого цеху.

Розрахункова активна потужність груп споживачів вище 1 кВ розраховується за вище наведеними формулами і враховується окремо.

Розрахункові результати зведено в табл. 2.1.

Приклад розрахунку (Цех з чищення і ремонту філерів).

$$P_{вст} = 350,0 \text{кВт}; \quad K_c = 0,55; \quad \cos\varphi = 0,75; \quad \operatorname{tg}\varphi = 0,88.$$

Розрахункові активна і реактивна потужності корпусу:

$$P_p = K_c \cdot P_{вст} = 0,55 \cdot 350,0 = 192,5 \text{кВт},$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 192,5 \cdot 0,88 = 169,8 \text{кВАр}.$$

Номінальне навантаження освітлювальних приймачів корпусу будемо визначати по питомій щільності освітлювального навантаження і площі цеху:

$$P_{ном.о} = P_{пит.о} \cdot F_{ц} = 0,015 \cdot 1115 = 16,7 \text{кВт},$$

Де  $F_{ц}$  – площа цеху,  $\text{м}^2$ ;

$P_{пит.о}$  - питома густина освітлювального навантаження [1, стор. 22, табл. 1.11], кВт /  $\text{м}^2$ .

Таблиця 2.1 Розрахункові навантаження цехів підприємства.

№	Назва цеху	Силове навантаження						Освітлювальне навантаження					Сумарне навантаження		
		$P_{вст},$ кВт	$K_c$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВАр	$F,$ м <sup>2</sup>	$P_{нвт.о},$ Вт / м <sup>2</sup>	$P_{н.о},$ кВт	$K_{co}$	$P_{p.о},$ кВт	$P_p + P_{p.о},$ кВт	$Q_p,$ кВАр	$S_p,$ кВА
Споживачі електроенергії до 1000 В															
1	Цех виробів екструзій	938.5	-	0.84	0.65	695.2	385.8	760	16	12.2	0.95	11.6	706.8	385,8	805,2
2	Цех по чищенню і ремонту філ'ер	350.0	0.55	0.75	0.88	192.5	169.8	1115	15	16.7	0.95	15.9	208.4	169,8	268,8
3	Цех по ремонту основн. обладнан.	850.0	0.50	0.70	1.02	425.0	433.6	1381	15	20.7	0.95	19.7	444.7	433,6	621,1
4	Цех по ремонту допоміж. обладн.	650.0	0.5	0.70	1.02	325.0	331.6	1050	15	15.8	0.95	15.0	340.0	331,6	474,9
5	Зварювальна ділянка	450.0	0.5	0.65	1.17	247.5	289.4	1822	13	23.7	0.95	22.5	270.0	289,4	395,8
6	Термічний цех	650.0	0.6	0.85	0.62	422.5	261.8	1115	13	14.5	0.95	13.8	436.3	261,8	508,8
7	Електроерозійний цех	800.0	0.65	0.85	0.62	520.0	322.3	1266	16	20.3	0.95	19.2	539.2	322,3	628,2
8	Склад готової продукції	220.0	0.40	0.85	0.62	88.0	54.5	1381	17	23.5	0.60	14.1	102.1	54,5	115,7
9	Компресорна	450.0	0.60	0.75	0.88	270.0	238.1	304	16	4.9	0.95	4.6	274.6	238,1	363,5
10	Адміністративна будівля	275.0	0.45	0.85	0.62	123.8	76.7	1160	20	23.2	0.90	20.9	144.6	76,7	163,7
Територія підприємства		0,0	-	-	-	0.0	0.0	39746	0.16	6.4	1	6.4	6.4	0.0	6,4
<b>Разом по 0,38 кВ</b>		5633,5	—	—	—	3309.5	2563.5	ZF ц = 11354	181.7	—	—	163.5	3473.0	2563.5	4316.6
Споживачі електроенергії вище 1000 В															
9	Компресорна	1260,0	0,60	0,75	0,88	756,0	666,7	-	-	-	-	-	756,0	666,7	1008,0
<b>Разом по 6 кВ</b>		1260,0	—	—	—	756,0	666,7	—	—	—	—	—	756,0	666,7	1008,0

Розрахункове навантаження освітлювальних приймачів цеху визначається по коефіцієнту попиту та номінальною потужністю:

$$P_{\text{розр.о}} = K_{\text{со}} \cdot P_{\text{ном.о}} = 0,95 \cdot 16,7 = 15,9 \text{ кВт},$$

де  $K_{\text{со}}$  – коефіцієнт запиту [1, стр. 22, табл. 1.10].

Повна максимальна потужність корпусу:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{розр.о}})^2 + Q_p^2} = \sqrt{(192,5 + 15,9)^2 + 169,8^2} = 268,8 \text{ кВА} \quad (2.16)$$

Винесемо окремі розрахункові результати задля подальшої зручності

ЕП до 1000 В

ЕП вище 1000 В

$$\sum P_p^H = 3309,5 \text{ кВт},$$

$$\sum P_p^B = 756,0 \text{ кВт}$$

$$\sum Q_p^H = 2563,5 \text{ кВАр},$$

$$\sum Q_p^B = 666,7 \text{ кВАр}$$

$$\sum P_{\text{розр.}} = 163,5 \text{ кВт},$$

Повна потужність навантаження підприємства на шинах напругою до 1 кВ за найзавантаженішу зміну:

$$S_p^H = \sqrt{(\sum P_p^H + \sum P_{\text{розр.о}})^2 + (\sum Q_p^H)^2} = \sqrt{(3309,5 + 163,5)^2 + 2563,5^2} = 4316,6 \text{ кВА}.$$

Так як трансформатори ЦТП та високовольтна мережа не були ще обрані, то наближено втрати потужності можна визначити в них з таких виразів [3, стор. 32]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 4316,6 = 86,3 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,10 \cdot S_p^H = 0,10 \cdot 4316,6 = 431,7 \text{ кВАр},$$

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 4316,6 = 129,5 \text{ кВт},$$

де  $\Delta P_{\text{тр}}$  – втрати активної потужності в цехових трансформаторах, кВт ;

$\Delta Q_{\text{тр}}$  – втрати реактивної потужності в цехових трансформаторах, кВАр ;

$\Delta P_{\text{л}}$  – втрати активної потужності в лініях, кВт .

Сумарні розрахункові активна, реактивна і повна потужності з урахуванням втрат в лініях і цехових трансформаторах :

$$P_{\text{р}\Sigma} = (\sum P_p^H + \sum P_p^B) \cdot K_{\text{р.м}} + P_{\text{розр.о}} + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{л}} = (3309,5 + 756,0) \cdot$$

$$0,95 + 163,5 + 86,3 + 129,5 = 4241,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{p\Sigma} = \sum Q_p^H + \sum Q_p^B \cdot K_{p.m} + \Delta Q_{tr} = (2563,5 + 666,7) \cdot 0,95 + 431,7 =$$

$$3500,4 \text{ кВАр},$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{(P_{p\Sigma})^2 + (Q_{p\Sigma})^2} = \sqrt{4241,6^2 + 3500,4^2} = 5499,4 \quad \text{кВА}.$$

де  $K_{p.m}$  – коефіцієнт різночасових максимумів навантаження [3, стр. 35].

Приблизні втрати потужності в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{tr.гпп} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 5499,4 = 110,0 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{tr.гпп} = 0,10 \cdot S_{p\Sigma} = 0,10 \cdot 5499,4 = 549,9 \text{ кВАр},$$

де  $\Delta P_{tr.гпп}$  - втрати активної потужності в трансформаторах ГПП, кВт;

$\Delta Q_{tr.гпп}$  - втрати реактивної потужності в трансформаторах ГПП, кВАр.

Розрахуємо повну розраункову потужність підприємства з боку вищої напруги трансформаторів ГПП:

$$S_p = \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{tr.гпп})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{tr.гпп})^2} =$$

$$\sqrt{(4241,6 + 110,0)^2 + (3500,4 + 549,9)^2} = \sqrt{4351,6^2 + 4050,4^2} = 5944,9 \text{ кВА}.$$

Отже, проведений розрахунок навантаження підприємства без урахування компенсації реактивної потужності.

Щоб врахувати компенсацію реактивної потужності необхідно визначитися з рівнем напруги живильних ліній.

При виборі напруги живильної лінії ГПП використовуються наступні рекомендації [5, стор. 46]:

- напруга 35 кВ має економічні переваги при передачі потужності не більше 10 МВА;

- напруга 110 кВ доцільно застосовується при споживаній потужності підприємством - 120 МВА;

- Потужності, які перевищують 120-150 МВА, для електропостачання підприємства можливе застосування напруги 220 кВ.

Для визначення економічно-доцільної величини напруги живильної лінії ГПП скористаємось формулою Ілларіонова:

$$U_{ЕК} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{5,0} + \frac{2500}{4,325}}} = 38,5\text{кВ}$$

де  $L$  - довжина живильної лінії, км;

$U_{ЕК}$  - економічна напруга на розглянутій ділянці, кВ.

З урахуванням рекомендацій приймаємо на розгляд напругу живильних ліній  $U_{ном} = 35\text{кВ}$ .

Реактивна потужність, яка буде передаватись в мережу підприємства становить:

$$Q_e = \alpha \cdot P_p = 0,24 \cdot 4351,6 = 1044,4\text{кВАр},$$

де  $\alpha$  - розрахунковий коефіцієнт, який відповідає середнім умовам передачі реактивної потужності по мережах системи [3, стор. 35].

Близьке значення потужності компенсуючих пристроїв :

$$Q_{ку} = Q_p - Q_e = 4050,4 - 1044,4 = 3006,0\text{кВАр}.$$

Повна розрахункова потужність підприємства з боку вищої напруги трансформаторів ГПП з урахуванням компенсації реактивної потужності

$$S_{р.ГПП} = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{ку})^2} = \sqrt{4351,6^2 + (4050,4 - 3006,0)^2} = \sqrt{4351,62 + 1044,42} = 4475,1\text{кВА}.$$

#### 2.1.4 Картограмма і визначення центру електричних навантажень

Освітлювальне навантаження наноситься у вигляді сектора кола, що зображує навантаження до 1000 В.

$$S_p = 805,2\text{кВА}, \quad P_{р.о} = 11,6\text{кВт}, \quad x = 109,1\text{мм} \quad y = 188,7\text{мм}$$

Осі координат довільно наносяться на генеральному плані підприємства та визначаються значення  $x_i$  і  $y_i$  для кожного цеху.

Візьмемо цех екструзійних виробів для розрахункового прикладу.

Радіус кола для силового навантаження корпусу :

$$r = \sqrt{\frac{S_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{805,2}{3,14 \cdot 0,450}} = 23,9 \text{ мм}$$

де  $S_{p.i}$  – розрахункова повна потужність і-го цеху

з урахуванням освітлення

,кВА;

$m$  – масштаб для визначення площі кола навантаження до 1000 В, кВА/мм<sup>2</sup>;

Кут сектора навантаження освітлення корпусу

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o}}{S_p} = \frac{360^\circ \cdot 11,6}{805,2} = 5,2 \text{ град}$$

Тоді:

$$S_p \cdot x = 805,2 \cdot 109,1 = 87847,5 \text{ кВА} \cdot \text{мм},$$

$$S_p \cdot y = 805,2 \cdot 188,7 = 151941,6 \text{ кВА} \cdot \text{мм}.$$

Розрахункові результати наведені в додатку 3.

Координати ЦЕН підприємства :

$$x_0 = \frac{\sum(S_{p.i} \cdot x_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{507498,5}{5353,7} = 94,8 \text{ мм},$$

$$y_0 = \frac{\sum(S_{p.i} \cdot y_i)}{\sum S_{p.i}} = \frac{802215,4}{5353,7} = 149,8 \text{ мм}$$

Оскільки центр електричного навантаження потрапив в зону розташування цехів, то розміщення ГПП зміщується в бік відкритого майданчика. Новими координати ЦЕН тоді будуть

$$x_0 = 101,3 \text{ мм}, y_0 = 136,9 \text{ мм}.$$

Картограма навантажень наведена на рис. 2.1.

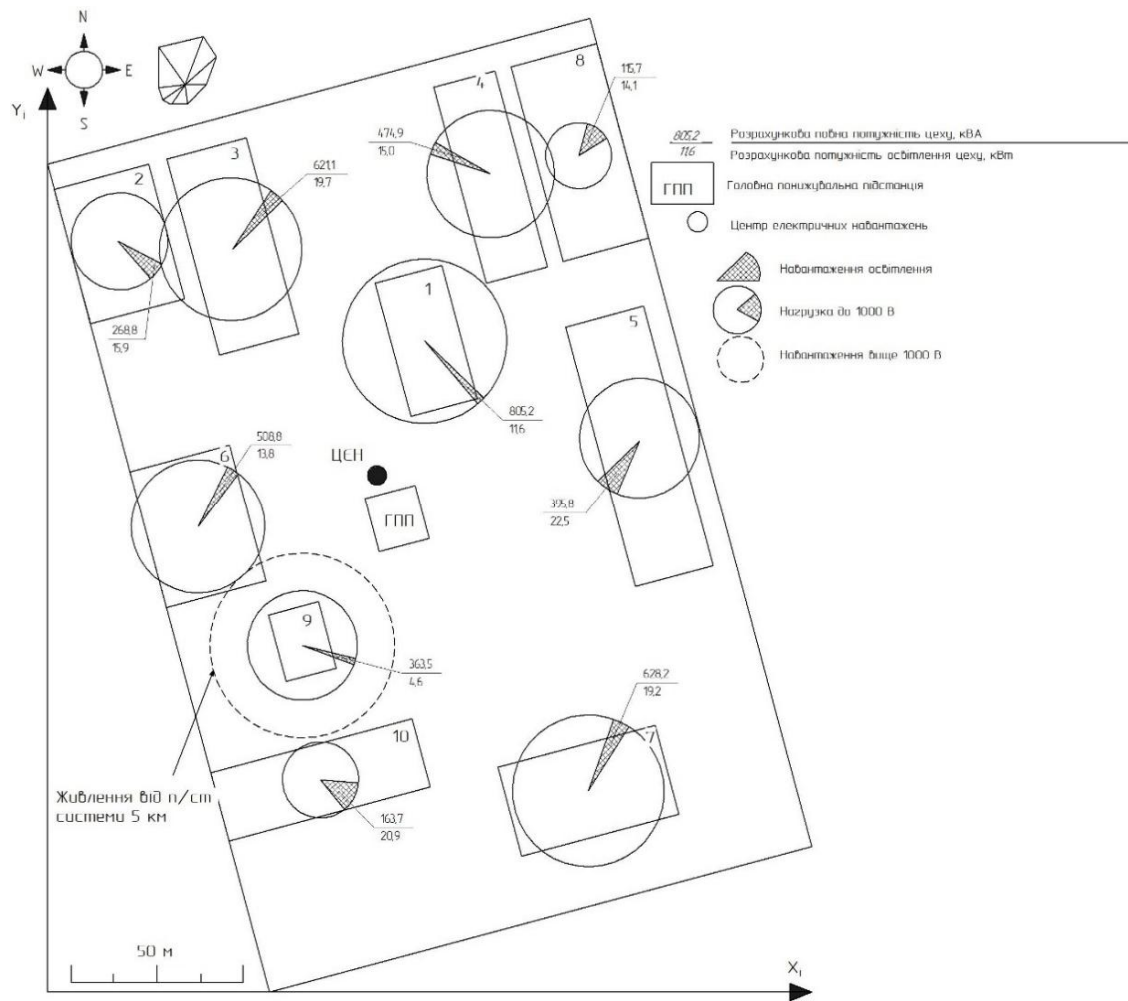


Рисунок 2.1 – Картограма електричних навантажень підприємства

## 2.2 Вибір числа і потужності цехових трансформаторів

При встановленні на потужних підприємствах промислового виробництва групи цехових трансформаторів їхню номінальну потужність визначають щільністю навантаження та вибирається, однаковою для цілої групи. Питома щільність навантаження [2, стор. 82, табл. 5.1]:

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{ц}} = \frac{4316,6}{11354,0} = 0,380 \text{ кВА/м}^2$$

Таблиця 2.2 - Дані трансформаторів [[2, стор. 82, табл. 5.1]]

Тип	S ном, МВА	U вн, кВ	U нн, кВ	P xx, кВт	Q xx, кВАр	P кз, кВт	Q кз, кВАр	U к, %	I xx, %
ТМ-1000/10	1,00	6,0	0,4	2,45	14,0	12,2	55,0	5,5	1,40



Мінімальна кількість цехових трансформаторів:

$$n_{\text{тр.0}} = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.o})}{\beta_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} = \frac{3473,0}{0,7 \cdot 1000} = 4,96 \text{ шт.}$$

Активне навантаження для одного трансформатора:

$$P_1 = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.o})}{n_{\text{тр}}} = \frac{3473,0}{5} = 694,6 \text{ кВт}$$

Кількість трансформаторів для встановлення в цехах підприємства (корпус №1)

$$n_{\text{тр.i}} = \frac{\sum(P_p^H + P_{p.o})}{P_1} = \frac{706,8}{694,6} = 1,018 \text{ шт.}$$

Навантаження цехів об'єднуються таким чином, щоб трансформаторні підстанції були завантажені оптимально, а кількість трансформаторів у них була в межах розрахункового числа трансформаторів.

Результати розрахунків записані в додатку 4.

На підставі розрахунків і угруповань навантажень на генплані підприємства розробляємо розстановку цехових трансформаторних підстанцій.

### 2.3 Компенсація реактивної потужності

При виборі засобів компенсації реактивної потужності вирішальне значення має кількість встановлених трансформаторів, наявність синхронних і асинхронних двигунів і навантаження з боку напруги вище 1000 В.

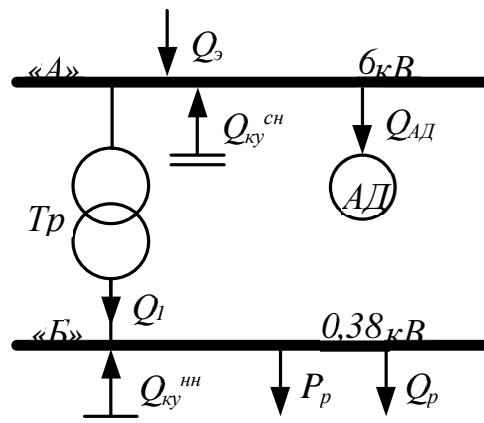


Рисунок 2.2 – Схема розподілу реактивної потужності

На даному підприємстві є синхронна високовольтна навантаження.

$$Q_{ад} = 666,7 \text{кВАр.}$$

Найбільша реактивна потужність, яка може бути передана з боку мережі вище 1000 В в мережу до 1000 В:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{тр} \cdot \beta \cdot S_{ном.тр})^2 - (P_p^H + P_{p.o})^2} = \sqrt{(5 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 3473,0^2} \\ = 433,9 \text{кВАр.}$$

Баланс реактивної потужності у вузлі «А»:

$$Q_A = Q_e - Q_{ад} - Q_1 = 1044,4 - 666,7 - 433,9 = -56,2 \text{кВАр.}$$

Компенсація з боку середньої напруги не потрібна. Баланс реактивної потужності у вузлі «Б»:

$$Q_B = Q_1 - Q_{р.н} = 433,9 - 2563,5 = -2129,7 \text{кВАр.}$$

Потужність конденсаторних установок на напругу 0,4 кВ:

$$Q_{ку.розр.}^{НН} = Q_{р.н} - Q_1 = 2563,5 - 433,9 = 2129,7 \text{кВАр}$$

Вибираємо установку комплектних конденсаторних установок типу УКО,38 – 450 – УЗС параметрами [5, стор. 167, табл. П6.2]:

- номінальна напруга  $U_{ном.ку} = 0,38 \text{кВ}$ ;
- номінальна потужність  $Q_{ном.ку} = 450 \text{кВАр}$ ;

Повна реактивна потужність, що генерується однією комплектною конденсаторною установкою:

$$Q_{ку} = \left( \frac{U_{ном}^{сн}}{U_{ном.ку}} \right)^2 \cdot Q_{ном.ку} = \left( \frac{0,38}{0,38} \right)^2 \cdot 450 = 450 \text{кВАр}$$

Необхідна кількість комплектних конденсаторних установок для установки на стороні НН

$$n_{ку.розр.} = \frac{Q_{ку.розр.}^{сн}}{Q_{ку}} = \frac{2129,7}{450,0} = 4,7 \text{шт.}$$

Повна реактивна потужність, що генерується комплектними конденсаторними установками:

$$Q_{ку}^{сн} = Q_{ку} \cdot n_{ку} = 450 \cdot 5 = 2250,0 \text{кВАр}$$

Сумарна генерується потужність компенсуючих пристроїв :

$$Q_{\text{ку}} = Q_{\text{ку}}^{\text{сн}} + Q_{\text{ку}}^{\text{нн}} = 0,0 + 2250,0 = 2250,0 \text{кВАр}$$

Повна розрахункова потужність підприємства з боку вищої напруги трансформаторів ГПП із врахуванням точного значення реактивної потужності компенсуючих пристроїв:

$$\begin{aligned} S_{\text{р.ГПП}} &= \sqrt{P_{\text{р}}^2 + (Q_{\text{р}} - Q_{\text{ку}})^2} = \sqrt{4351,6^2 + (4050,4 - 2250,0)^2} \\ &= \sqrt{4351,6^2 + 1800,4^2} = 4709,3 \text{кВА}. \end{aligned}$$

## 2.4 Складання схеми зовнішнього електропостачання

Приймаємо схему зовнішнього електропостачання у вигляді двох блоків з вимикачами і неавтоматичною перемичкою. При певних порушеннях в трансформаторі, буде спрацьовувати захист який і буде подавати сигнал на відключення вимикача в ланцюгах трансформатора на низькій і високій стороні. Секційний вимикач з низького боку підключить ту секцію, яка залишилася без напруги. Роз'єднувачі в ремонтній перемичці нормально відключені. У випадку виведення в ремонт трансформатора чи вимикача в ланцюзі трансформатора є можливість залишити в роботі обидві лінії що живлять шляхом увімкнення роз'єднувачів перемички. Спершу ж при цьому вмикається перемичка, а за нею відключається ланка трансформатора.

Зробимо розрахунок капітальних витрат на спорудження схеми зовнішнього електропостачання.

При розрахунках раціонально враховувати підвищує зональний коефіцієнт на базисну вартість електроенергетичних об'єктів. Для нас даний коефіцієнт б, стор279, табл.7.2  $\gamma=1,2$

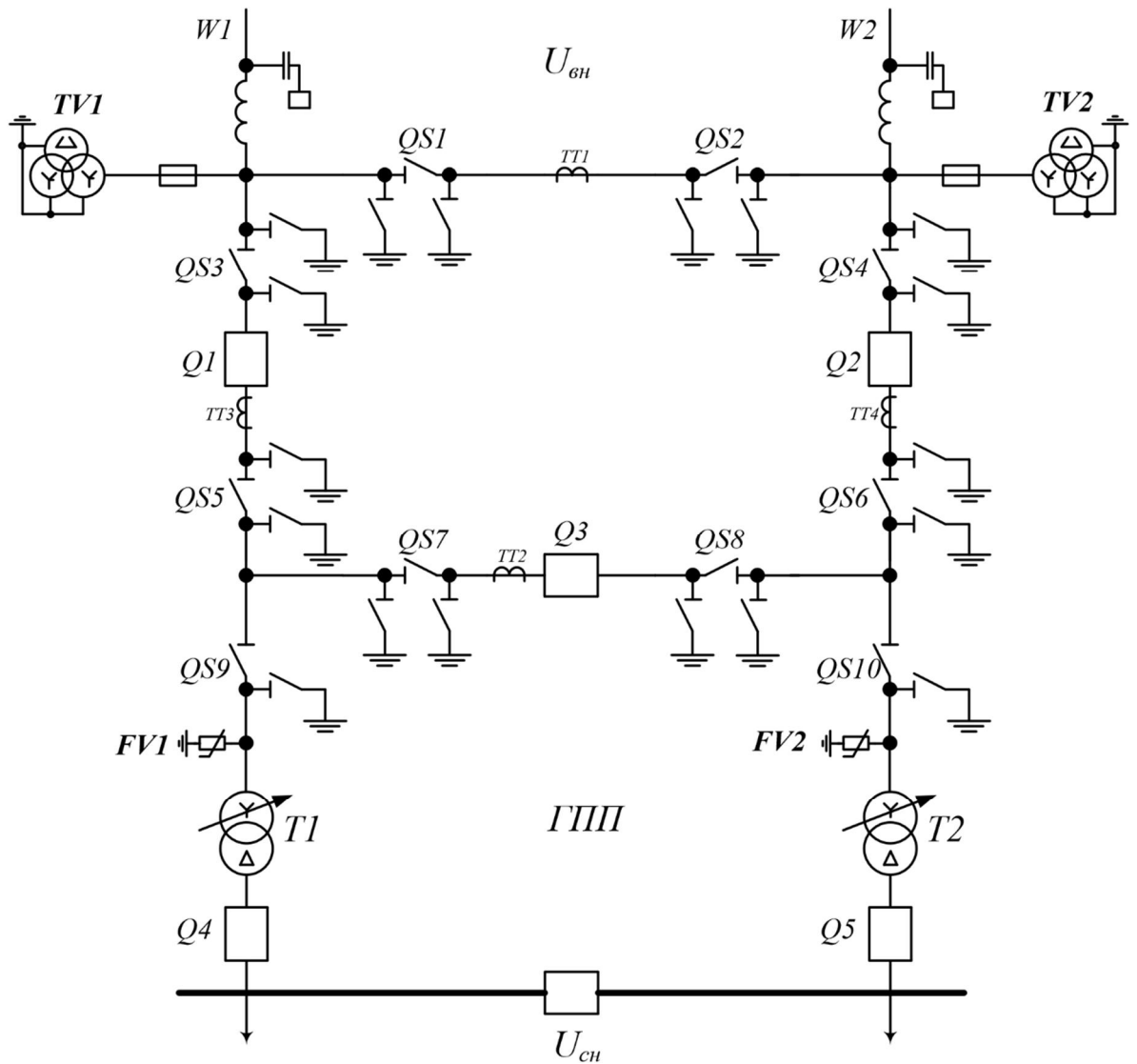


Рисунок 2.3 - Схема зовнішнього електропостачання

## 2.5 Вибір потужності силових трансформаторів на ГПП

Потужність трансформатора виберемо з урахуванням відомого добового графіка навантаження підприємства, рисунок 2.4.

З добового графіка можна визначити

$$S_{\max} = 4709,3 \text{ кВА.}$$

Споживана за добу активна і реактивна енергія

$$W = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i = 65273,3 \text{ кВт} \cdot \text{грн.} \quad V = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot t_i = 26969,3 \text{ кВАр} \cdot \text{грн.}$$

Середня за добу навантаження підприємства

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{W^2 + V^2}}{24} = \frac{\sqrt{65273,3^2 + 26969,3^2}}{24} = 2942,7 \text{ кВА}$$

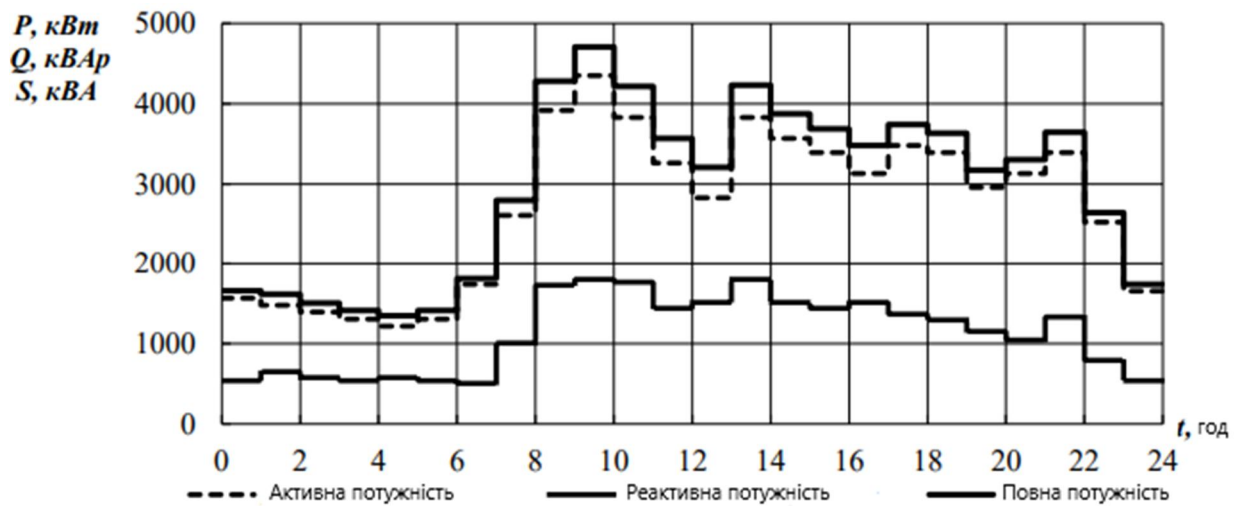


Рисунок 2.4 - Добовий графік навантажень підприємства

Добовий графік активного навантаження перетворимо в річний графік навантажень за тривалістю, рисунок 2.5.

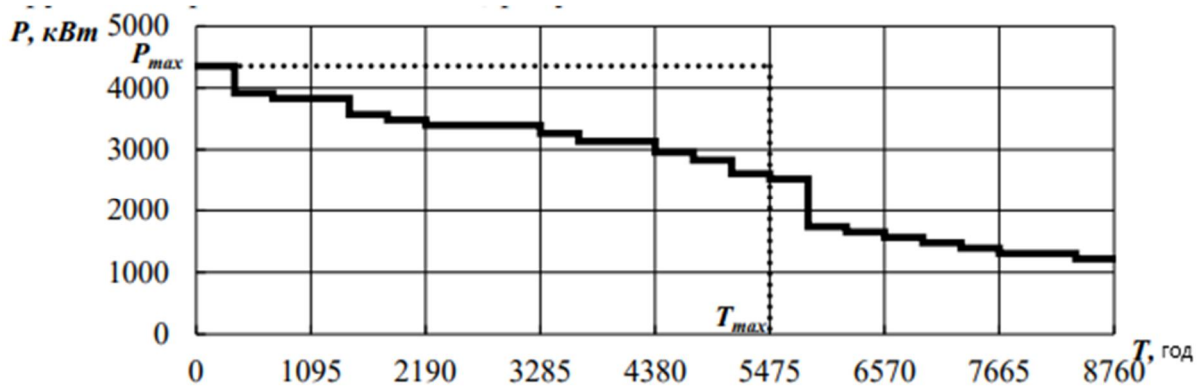


Рисунок 2.4 - Річний графік навантаження за тривалістю

Кількість спожитої за рік електричної енергії:

$$W_{\text{год}} = 23824758,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Число годин використання максимального навантаження:

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\text{max}}} = \frac{23824758,8}{4351,6} = 5475,0 \text{ , год}$$

Час максимальних втрат:

$$t_{\text{max}} = (0,124 + T_{\text{max}} \cdot 10 - 4)2 \cdot 8760 = 3950,0 \text{ год.}$$

Вибір трансформаторів по перевантажувальній здатності проводиться за тривалістю максимуму навантаження  $t_{max}$  і коефіцієнту заповнення графіка навантаження  $k_{зап.гр}$ , який визначається за добовим графіком навантаження:

$$k_{зап.гр} = \frac{S_{ср}}{S_{max}} = \frac{2942,7}{4709,3} = 0,62$$

Тривалість максимуму навантаження з добового графіка навантажень підприємства:

$$t_{max} = 1 \text{ год.}$$

Кратність допустимого навантаження трансформатора з урахуванням коефіцієнта заповнення графіка і тривалості максимуму навантаження [5, стор. 70, рис. 3.9.]:

$$k_{нагр} = \frac{S_{max}}{S_{ном.тр}} = 1,23$$

Номинальна потужність трансформаторів:(2.38)

$$S_{тр.розр.} = \frac{S_{max}}{k_{нагр}} = \frac{4709,3}{1,23} = 3828,7 \text{кВА}$$

Приймаються до установки на ДПП по два трансформатори потужністю  $S_{ном.тр} = 2500 \text{кВА}$ .  $S_{ном.тр} = 4000 \text{кВА}$ ,

1) Коефіцієнт завантаження

$$\beta = \frac{S_{max}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{4709,3}{2 \cdot 2500} = 0,94$$

Перевіряємо встановлену потужність трансформатора в післяаварійний режим при відключенні одного з трансформаторів:

$$1,4 \cdot S_{ном.тр} = 1,4 \cdot 2500 = 3500,0 \text{кВА} > kI - II \cdot S_{max} = 0,59 \cdot 4709,3 = 2799,9 \text{кВА.}$$

Отже, обрана потужність трансформаторів забезпечує електропостачання підприємства як в нормальному, так і в післяаварійний режимах.

2) Коефіцієнт завантаження:

$$\beta = \frac{S_{max}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{4709,3}{2 \cdot 4000} = 0,59 \quad (2.40)$$

Перевіряємо встановлену потужність трансформатора в післяаварійному режимі при відключенні одного з трансформаторів:

$$1,4 \cdot S_{\text{ном. тр}} = 1,4 \cdot 4000 = 5600,0 \text{кВа} > kI - II \cdot S_{\text{max}} = \\ = 0,59 \cdot 4709,3 = 2799,9 \text{кВа.}$$

Отже, обрана потужність трансформаторів забезпечує електропостачання підприємства як в нормальному, так і в післяаварійних режимах.

Таблиця 2.2 – Параметри трансформаторів

Тип	$S_{\text{ном}}$ , МВА	$U_{\text{вн}}$ , кВ	$U_{\text{нн}}$ , кВ	$P_{\text{xx}}$ , кВт	$Q_{\text{xx}}$ , кВАр	$P_{\text{кз}}$ , кВт	$Q_{\text{кз}}$ , кВАр	$U_{\text{к}}$ , %	$I_{\text{xx}}$ , %
ТМН-2500/35	2,5	35,0	6,3	5,1	27,5	23,5	162,5	6,5	1,10
ТМН-4000/35	4,0	35,0	6,3	6,7	40,0	33,5	300,0	7,5	1,00

Трансформатор ТМН-2500/35.

Наведені втрати потужності в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{xx}'} = \Delta P_{\text{xx}} + k_{\text{ек}} \cdot \Delta Q_{\text{xx}} = 5,1 + 0,07 \cdot 27,5 = 7,2 \text{кВт,}$$

$$\Delta P_{\text{кз}'} = \Delta P_{\text{кз}} + k_{\text{ек}} \cdot \Delta Q_{\text{кз}} = 23,5 + 0,07 \cdot 162,5 = 34,9 \text{кВт,)}$$

## 2.6 Вибір перетину лінії, яка живить ГПП

Вибір перетину лінії проводиться для двох видів трансформаторів з подальшим техніко-економічним порівнянням двох варіантів.

Вибір перетину дроту проводиться з економічної щільності струму. Повітряні ЛЕП 35 кВ, трансформатори ТМН – 2500/35

Розрахунковий струм на одне коло :

$$I_{\text{розр.}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр.ГПП}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 2500}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 41,2 \text{А}$$

Розрахунковий струм в післяаварійному режимі :

$$I_{\text{розр.п/ав}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{тр.ГПП}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 2500}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 82,5 \text{А}$$

Економічний перетин:

$$F_{\text{ЕК}} = \frac{I_{\text{розр.}}}{j_{\text{ЕК}}} = \frac{41,2}{1,0} = 41,2 \text{ мм}^2$$

де  $j_{\text{ЕК}}$  – нормоване значення економічної щільності струму з урахуванням кількості годин використання максимального навантаження [6, стор. 78, табл. 3.12], А / мм<sup>2</sup>. З стандартного ряду перетинів приймаємо сталевалюмінієвий провід АС 120/19 з  $I_{\text{доп}} = 390 \text{ А}$  [6, стор. 82, табл. 3.15.]

Перевірка по перевантажувальній здатності (в післяаварійному режимі при відключенні однієї з ліній живлення).

$$I_{\text{розр. п/ав}} < 1,3 \cdot I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 390 = 507,0 \text{ А.}$$

Перевірка виконується та задовільняє умовам

Перевірка за умовою механічної міцності: згідно з ПУЕ, повітряні лінії напругою 35 кВ і вище, що споруджуються на двоколових опорах із застосуванням сталевалюмінієвих проводів, необхідні мати переріз не менше 120 мм<sup>2</sup>. Таким чином, перевірка також виконується та задовільняє умовам.

Перевірка по допустимій втраті напруги

$$L_{\text{доп}} < L \Delta U 1\% \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{розр}}} = 2,05 \cdot 5 \cdot 390 \cdot 41,2 = 96,9 \text{ км} > L_{\text{факт}} = 5,0 \text{ км}$$

де  $\Delta U_{\text{доп}}$ - допустиме значення втрати напруги ;

$L_{\text{доп}}$ - допустима довжина живильної лінії, км ;

$L_{\text{факт}}$ - фактична довжина живильної лінії, км ;

$L \Delta U 1\%$ - довжина лінії при повному завантаженні, на якій втрата напруги дорівнює 1%, [3, стор. 89, табл. П. 2.7].

Перевірка на корону: при номінальній напрузі 35 кВ не проводиться.

Втрати активної енергії

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{ЛЕП}}^{\text{а}} &= n_{\text{ц}} \cdot \Delta p_{\text{уд}} \cdot k_{\text{з}}^2 \cdot L \cdot \tau_{\text{max}} = n_{\text{ц}} \cdot \Delta p_{\text{уд}} \cdot \left( \frac{I_{\text{розр.}}}{I_{\text{доп}}} \right)^2 \cdot L \cdot \tau_{\text{max}} \\ &= 2 \cdot 140 \cdot \left( \frac{41,2}{390} \right)^2 \cdot 5,0 \cdot 3950,0 = 61832,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} \end{aligned}$$



де  $k_3$ - коефіцієнт завантаження лінії по струму;

$\Delta r_{уд}$  - питомі втрати в лінії при номінальному завантаженні [3, стор. 89, табл. П. 2.7], кВт / км.

## 2.7 Внутрішня мережа заводу вище 1000 В

Розподільна мережа вище 1000 В по території підприємства виконується трижильний кабелями марки ВББШв (кабель з мідними жилами, з оболонкою з вулканізованого поліетилену, броньований, з зовнішнім покриттям з полівінілхлоридного шланга) з прокладкою по естакадах. Живлення високовольтних двигунів здійснюється кабельними лініями тієї ж марки, з прокладкою по естакадах.

ГПП - РП1

Розрахунковий струм на один ланцюг

$$I_{розр.} = \frac{n_{тр} \cdot S_{ном.тр} + S_p^B}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 1000 + 1008,0}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 144,7 \text{ А}$$

де  $S_{ном.тр}$  - номінальна потужність цехового трансформатора, кВА;

$S_p$  - розрахункова потужність високовольтної навантаження РП, кВА ;

$n_{тр}$  - кількість трансформаторів, шт;

$n_{ц}$  - кількість кіл лінії живлення, шт.

Розрахунковий струм в післяаварійному режимі:

$$I_{розр.п/ав} = \frac{n_{тр} \cdot S_{ном.тр} + S_p^B}{n_{ц} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 1000 + 1008,0}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 289,4 \text{ А}$$

Економічний перетин при роботі підприємства з  $T_{max} > 5000$  год/рік і живленні кабелями з мідними жилами визначається для економічної щільності струму  $j_{ек} = 2,0 \text{ А / мм}^2$  [1, стор. 72, табл. 3.16]:

$$F_{ек} = \frac{I_{розр}}{j_{ек}} = \frac{144,7}{2,0} = 72,4 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель найближчого стандартного перетину марки ВБШв  $F = 120\text{мм}^2$  з  $I_{\text{доп}} = 260\text{А}$ . [1, стор. 66 – 68, табл. 3.6 – 3.9].

Обраний перетин перевіряється по допустимому навантаженні з умов нагрівання в нормальному режимі і з урахуванням допустимого перевантаження в післяаварійному режимі

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,00 \cdot 260 = 260\text{А} > I_{\text{расч}} = 144,7\text{А}$$

де  $K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт прокладки при прокладці кабельних ліній по естакадах;

$$1,3 \cdot I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 260 = 338,0\text{А} > I_{\text{розр.п/ав}} = 289,4\text{А}.$$

Обраний перетин проходить за результатами перевірок. Ми залишаємо раніше вибраний кабель.

$$I_{\text{розр.}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 96,2\text{А}.$$

де  $S_{\text{ном. тр}}$  - номінальна потужність цехового трансформатора, кВА;

кількість трансформаторів, шт;

кількість ланцюгів лінії живлення, шт.

Розрахунковий струм в післяаварійному режимі:

$$I_{\text{розр.п/ав}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}}{(n_{\text{ц}} - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{2 \cdot 1000}{(2 - 1) \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 192,5\text{А}$$

Економічний перетин при роботі підприємства з  $T_{\text{max}} > 5000 \frac{\text{год}}{\text{рік}}$  живленні кабелями з мідними жилами визначається для економічної щільності струму  $j_{\text{ек}} = 2,0 \text{ А / мм}^2$  [1, стор. 72, табл. 3.16]:

$$F_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{розр}}}{j_{\text{ек}}} = \frac{96,2}{2,0} = 48,1 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель найближчого стандартного перетину марки ВБШв  $F = 70\text{мм}^2$  з  $I_{\text{доп}} = 180\text{А}$ . [1, стор. 66 – 68, табл. 3.6 – 3.9].

Обраний перетин перевіряється по допустимому навантаженні з умов нагрівання в нормальному режимі і з урахуванням допустимого перевантаження в післяаварійному режимі:

$$1,3 \cdot I'_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 180 = 234,0\text{А} > I_{\text{розр.п/ав}} = 192,5\text{А}.$$

де  $K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт прокладки при прокладці кабельних ліній по естакадах;  
 $I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,00 \cdot 180 = 180,0\text{А} > I_{\text{розр.}} = 96,2\text{А}$

де  $P_{\text{сд}}$  – номінальна потужність двигуна, кВт.

Економічний перетин при роботі підприємства з  $T_{\text{max}} > 5000$  год / рік живлення кабелями з мідними жилами визначається для економічної щільності струму  $j_{\text{ек}} = 2,0 \text{ А / мм}^2$  [1, стор. 72, табл. 3.16]:

$$F_{\text{ек}} = 40,4 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель найближчого стандартного перетину марки ВБбШв  $F = 35 \text{ мм}^2$  з  $I_{\text{доп}} = 120 \text{ А}$ . [1, стор. 66 – 68, табл. 3.6 – 3.9].

Обраний перетин перевіряється по допустимому навантаженні з умов нагрівання в нормальному режимі:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{пр}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,00 \cdot 120 = 120,0\text{А} > I_{\text{розр.}} = 80,8\text{А}$$

де  $K_{\text{пр}}$  - коефіцієнт прокладки при прокладці кабельних ліній по естакадах.

Обраний перетин проходить по результату перевірки. Ми залишаємо раніше намічений кабель.

## 2.8 Розрахунок струмів к.з. в мережі вище 1 кВ

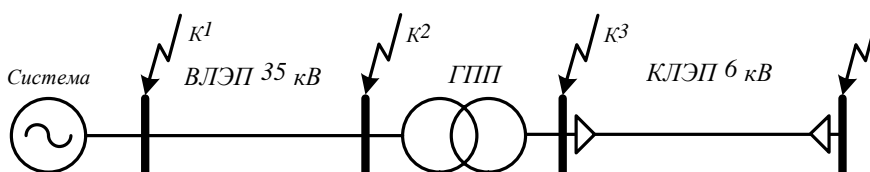
В електричних установках виникають різні види КЗ, які супроводжуються різким збільшенням струму. Тому обладнання, що встановлюється в системах електропостачання, має повинно бути стійким до струмів КЗ і вибиратися з урахуванням величин цих струмів.

Напруга на шинах ВН ДПП при розрахунку можна вважати постійним, оскільки підприємство отримує живлення від енергосистеми необмеженої потужності. Мається на увазі, що періодична складова струму КЗ практично не змінюється в часі і залишається постійною від початку КЗ до його закінчення.

Розрахунок струмів КЗ ведемо в відносних одиницях. Для цього всі розрахункові дані наводяться до базисної напруги і базисної потужності.

Для розрахунків струмів КЗ складають розрахункову схему системи електропостачання малюнок 3.5 та на її основі схему заміщення малюнок 3.6. Розрахункова схема являє собою спрощену однолінійну схему, на якій вказують всі елементи системи електропостачання та їх параметри, що впливають на струм короткого замикання. Також тут же і вказуються точки, де потрібно розрахувати струм КЗ.

Розрахунок струмів КЗ ведемо на ділянці Система - ДПП - ТП2.



$$S_c = 400 \text{ МВА } 2 \times \text{АС} - 120/19 \text{ ТМН} - 2500/35 \text{ ВБ6ШВ} - 2(3 \times 70)$$

$$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ } S_{\text{ном}} = 2,5 \text{ МВА } U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ } l = 5,0 \text{ км } U_k = 6,5\%$$

$$l = 0,048 \text{ км } r_0 = \frac{0,2440 \text{ м}}{\text{км}} \quad r_0 = \frac{0,2600 \text{ м}}{\text{км}} \quad x_0 = \frac{0,4270 \text{ м}}{\text{км}}$$

$$x_0 = 0,0800 \text{ м/км } n_{\text{ц}} = 2 \text{ шт } n_{\text{ц}} = 2 \text{ шт}$$

Рисунок 2.5 – Розрахункова схема ділянки, яка досліджується

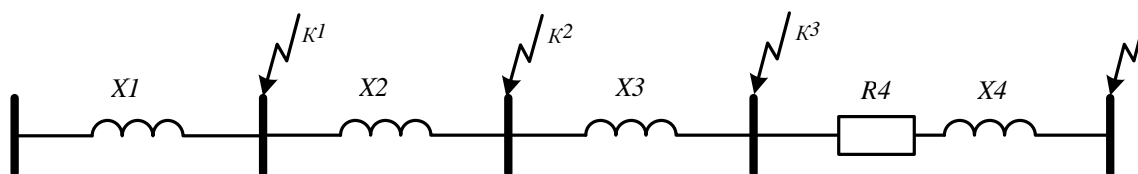


Рисунок 2.6 - Схема заміщення даної ділянки

За вихідними даними визначаємо потужність системи. Приблизно приймаємо за потужність системи потужність відключення вимикача на приєднання підстанції до системи:

$$S_6 = 100 \text{ МВА}, \quad U_{61} = 37,0 \text{ кВ}, \quad U_{62} = 6,3 \text{ кВ}.$$

$$I_{61} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 37,0} = 1,560 \text{ кА}, \quad I_{62} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,164 \text{ кА}$$

На високовольній лінії електропередач, для трансформаторів та генераторів, як правило, рахуються тільки індуктивні опори. Доцільно враховувати активні опори, якщо  $R\Sigma > X\Sigma / 3$ .

Опір елементів

$$X_c = X_1 = \frac{S_6}{S_c} = \frac{100}{400} = 0,250$$

повітряна лінія

$$X_2 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{61}^2} = 0,427 \cdot 5,0 \cdot \frac{100}{1 \cdot 37,0^2} = 0,156$$

трансформатори

$$X_3 = \frac{U_{\text{к,}\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{ном.тр}}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{100}{2,5} = 2,600$$

кабельна лінія

$$R_4 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{62}^2} = 0,260 \cdot 0,048 \cdot \frac{100}{1 \cdot 6,3^2} = 0,031,$$

$$X_4 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{n_{\text{ц}} \cdot U_{62}^2} = 0,088 \cdot 0,048 \cdot \frac{100}{1 \cdot 6,3^2} = 0,010$$

Повний супротив опору від джерела струму до точки К1

$$Z_{\Sigma 1} = \sqrt{R_{\Sigma 1}^2 + X_{\Sigma 1}^2} = X_1 = 0,250$$

Діюче значення напруги КЗ в точці К1:

$$I_{\text{к1}} = \frac{I_{61}}{Z_{\Sigma 1}} = \frac{1,560}{0,250} = 6,242 \text{кА}$$

Ударний струм КЗ в точці К1:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,608 \cdot 6,242 = 14,2 \text{кА}$$

де  $k_{\text{уд}}$  - ударний коефіцієнт, що залежить від постійної часу, та який визначається по залежності  $k_{\text{уд}} = f(Ta)$  [9, стор. 44, табл. П1.5].

Для інших точок заведемо таблицю 2.3 з розрахунками струмів КЗ.

Таблиця 2.7 – Розрахунок струмів к.з. для розглянутої ділянки

Точка КЗ	$U_{\text{б,}}$	$I_{\text{б,}}$	$Z_{\Sigma}$	$k_{\text{уд}}$	$T_{\text{а,}}$	$I_{\text{к,}}$	$i_{\text{уд,}}$
	кВ	кА	–	–	сек	кА	кА
1	2	3	4	5	6	7	8
К1	37,0	1,560	0,250	1,608	0,02	6,242	14,2
К2	37,0	1,560	0,406	1,608	0,02	3,844	8,7
К3	6,3	9,164	3,006	1,869	0,01	3,049	8,1
К4	6,3	9,164	3,016	1,869	0,01	3,039	8,0

Отриманий з економічної щільності струму перетин високовольтних ліній необхідно перевірити на термічну стійкість при короткому замиканні.

Час відключення КЗ

Тепловий імпульс струму короткого замикання

$$B_{\text{к}} = I_{\text{к}} \cdot t_{\text{пр}} = 3048,7 \cdot 0,3 = 2788396,0 \text{А} \cdot \text{сек.}$$

де  $I_{\text{к}}$  – напруга кз на низькій стороні трансформаторів ГПП .

Термічно стійке січення рівне:

$$F_{\text{min}} = \frac{I_{\text{к}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{C} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C} = \frac{2788396,0}{141} = 11,8 \text{мм}^2 < F_{\text{real}} = 70 \text{мм}^2$$

де  $C$  - (для кабелів до 10 кВ з мідними жилами) - коефіцієнт, що залежить від допустимої температури при кз і матеріалу провідника [3, стор. 42],

$$A \cdot c1 / 2 / \text{мм}^2;$$

$F_{\text{реал}}$ - перетин лінії, що живить станцію,  $\text{мм}^2$ .

Таким чином, попередньо вибраний перетин по термічній стійкості проходить. Ми залишаємо раніше вибраний перетин.

## 2.9 Висновки до розділу 2

Першим етапом було розрахунок та визначення ЕНЦ "Методом впорядкованих діаграм", тобто методом коефіцієнта попиту і коефіцієнта максимуму та визначення розрахункового навантаження підприємства в цілому, визначувана, за розрахунковими реактивними та активними навантаженнями цехів (до і вище 1000 В) з урахуванням розрахункового навантаження освітлення цехів та території, втрат потужності в трансформаторах цехових підстанцій і ГПП, втрат у високовольтних лініях.

По розрахункових навантаженнях цехів була побудована картограма навантажень і визначений центр електричних навантажень підприємства. Зі зміщенням від центру електричних навантажень у бік ЛЕП, що живить підприємство, була встановлена ГПП підприємства. На ГПП встановлені два двообмоточні трансформатори марки ТДН- 25000/35. На стороні 35кВ прийнята схема у вигляді містка з вимикачами в колах ліній і ремонтною перемичкою з боку ліній. На стороні 6 кВ прийнята одинарна секціонована система шин, з облаштуванням АВР, устаткування встановлене в закритому приміщенні. Електропостачання підприємства здійснюється від підстанції енергосистеми по двох повітряних ЛЕП 35 кВ.

### 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Вибір роз'єднувачів та вимикачів

Вибір роз'єднувача та вимикача будемо розглядати на високій стороні трансформатора ГПП.

Помітимо для встановлення вимикач типу ВВУ-35-40/2000

Перевірка вимикача по напрузі установки

$$U_{уст} \leq U_{ном}$$

$$U_{уст} = 35,0 \text{кВ} = U_{ном} = 35,0 \text{кВ};$$

$$I_{max} \leq I_{ном}$$

$$I_{max} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{4709,3}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 77,7 \text{А} < I_{ном} = 2000,0 \text{А};$$

- по здатності відключатись  $I_{n,t} \leq I_{отк.ном}$

$$I_{n,t} = 6,242 \text{кА} < I_{отк.ном} = 40,0 \text{кА};$$

- по електродинамічній стійкості  $I_{п,0} \leq I_{дин}$ ,  $i_{уд} \leq i_{дин}$

$$I_{n,0} = 6,242 \text{кА} < I_{дин} = 40 \text{кА},$$

$$i_{уд} = 14,2 \text{кА} < i_{дин} = 100 \text{кА};$$

- по термічній стійкості  $B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$

$$B_k = I_{п,0}^2 \cdot (t_{р.з.} + t_{отк.в} + T_a) = 6,242^2 \cdot (1,2 + 0,07 + 0,020) = 50,256 \text{кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 40,0^2 \cdot 3 = 4800,0 \cdot \text{с},$$

$$B_k = 50,256 \text{кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 4800,0 \text{кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вимикач проходить за результатами перевірок.

Вибираємо для встановлення роз'єднувач типу РДЗ-35/1000

Перевірка роз'єднувача

- по напрузі установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 35,0 \text{кВ} = 35,0 \text{кВ};$$

- по струму  $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = 77,7 \text{А} < I_{ном} = 1000,0 \text{А};$$

- по електродинамічній стійкості  $i_{уд} \leq i_{пр.с}$



$$i_{уд} = 14,2 \text{ кА} < I_{пр.с} = 51 \text{ кА};$$

- по термічній стійкості

$$B_k = 50,256 \text{ кА} \cdot \text{с} < I_{тер} \cdot t_{тер} = 20,0 \cdot 4 = 1600,0 \text{ кА} \cdot \text{с};$$

Роз'єднувач підходить за результатами провірок .

Вибираємо одностипне обладнання, тобто всі роз'єднувачі на високій стороні будуть мати однакову марку, аналогічно як і всі вимикачі.

Наступний розрахунок занесемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Вибір вимикачів та роз'єднувачів

Розрахункові дані	Вимикач ВВУ-35-40/2000	Роз'єднувач РДЗ-35/1000
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$
$I_{max} = 77,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
$I_{н,t} = 6,2 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 40 \text{ кА}$	—
$I_{н,o} = 6,2 \text{ кА}$	$I_{дин} = 40 \text{ кА}$	—
$i_{уд} = 14,2 \text{ кА}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{пр.с} = 51 \text{ кА}$
$B_k = 50,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2тер} \cdot t_{тер} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2тер} \cdot t_{тер} = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Розрахункові дані	Вимикач ВЭ-10-20/630	Роз'єднувач
$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	Використовується візок
$I_{max} = 207,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	
$I_{н,t} = 3,0 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$	
$I_{н,o} = 3,0 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$	
$i_{уд} = 8,1 \text{ кА}$	$i_{дин} = 51 \text{ кА}$	
$B_k = 5,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{2тер} \cdot t_{тер} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	

### 3.2 Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Трансформатори струму призначенні для зменшення первинного струму до значень, які найзручніше підходять для реле та вимірювальних приладів, а так само і для відділення ланцюгів вимірювання та захисту від первинних кіл високої напруги.

До основних приладів, що підключаються до трансформаторів струму на понижувальних підстанціях відносяться лічильники активної та реактивної енергії, ватметри, варметри [9, стор. 371, рис. 4.104; 9, стр. 362, табл. 4.11].

Навантаження трансформаторів струму представлено в таблиці 4.2 [9, стор. 635, табл. П. 4.7].

Таблиця 3.2 – Навантаження трансформаторів струму

Місце установки	Прилад	Тип	Навантаження, В·А		
			А	В	С
Сторона ВН трансформатора	Амперметр	Э — 350	—	0,5	—
	Ватметр	Д — 335	0,5	—	0,5
	Варметр	Д — 335	0,5	—	0,5
	Лічильник W	СЭТ-4ТМ	2,5	—	2,5
	Лічильник V	СЭТ-4ТМ	2,5	—	2,5
Всього:			6,0	0,5	6,0
Сторона НН трансформатора	Амперметр	Э — 350	—	0,5	—
	Ватметр	Д — 335	0,5	—	0,5
	Варметр	Д — 335	0,5	—	0,5
	Лічильник W	СЭТ-4ТМ	2,5	—	2,5
	Лічильник V	СЭТ-4ТМ	2,5	—	2,5
Всього:			6,0	0,5	6,0

Приклад вибору трансформатора струму на стороні ВН трансформатора ДПП.

Із табл. 3.2 можна побачити, що найзавантаженішими є фази А та С. Будемо вести розрахунок для них.

Вибираємо до встановлення трансформатор струму типу ТФЗМ35

Параметри трансформатора струму [8, стор. 295, табл. 5 – 9]

- номінальна напруга  $U_{ном} = 35 \text{ кВ}$  ;
- номінальний струм  $I_{ном} = 100 \text{ А}$ ;
- вторинний номінальний струм трансформатора струму  $I_2 = 5 \text{ А}$  ;
- напруга електродинамічної стійкості  $i_{дин} = 21 \text{ кА}$ ;

- струм термічної стійкості  $I_{тер} = 4,7\text{кА}$ ;
- тривалість протікання струму термічної стійкості  $t_{тер} = 3\text{с}$ ;
- вторинне номінальне навантаження трансформатора струму

$$Z_{2_{ном}} = 1,2\text{Ом};$$

- клас точності 0,5.
- перевірка ТС по напрузі установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 35,0\text{кВ} = U_{ном} = 35,0\text{кВ};$$

- перевірка трансформатора струму по струму  $I_{max} \leq I_{ном}$

$$I_{max} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{4709,3}{\sqrt{3} \cdot 35,0} = 77,7\text{А} < I_{ном} = 100,0\text{А}; \quad )$$

- перевірка трансформатора струму по вторинному навантаженню

$$Z_2 \leq Z_{2ном}$$

Загальний опір приладів, підключених трансформатора струму:

$$r_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{6,0}{5^2} = 0,24\text{Ом},$$

де  $S_{приб}$  – потужність, що використовується відповідними приладами (див табл. 3.2).

Допустимий опір провідників :

$$r_{пр.доп} = Z_{2ном} - r_{приб} - r_k = 1,2 - 0,24 - 0,10 = 0,86\text{Ом}$$

де  $r_k$  – опір контактів (0,05 Ом при двох-трьох приладах ; 0,1 Ом при загальній кількості приладів) [9, стор. 374].

Щоб приєднати до трансформатора струму прилади, будемо використовувати кабелі з алюмінієвими жилами. Розрахунковий перетин кабелю:

$$q_{расч} = \frac{\rho \cdot l_{пр}}{r_{пр}} = \frac{0,0238 \cdot 12}{0,86} = 0,39\text{мм}^2$$

де  $\rho=0,0283\text{ Ом/мм}^2$  - питомий опір алюмінієвого проводу [9, стор. 374];

Вибираємо кабель промаркований як АКРВГ перетином  $q = 4 \text{ мм}^2$  [9, стор. 375].

Тоді опір кабелю:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{пр}}}{q} = \frac{0,283 \cdot 12}{4} = 0,085 \text{ Ом} \quad (3.7)$$

Вторинне навантаження трансформатора струму

$$Z_2 \approx r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} = 0,24 + 0,085 + 0,10 = 0,425 \text{ Ом} < Z_{2\text{ном}} = 1,200 \text{ Ом}.$$

- перевірка ТС на електродинамічну стійкість  $i_{\text{уд}} \leq i_{\text{пр.с}}$

- трансформатора струму на термічну стійкість

$$i_{\text{уд}} = 14,2 \text{ кА} < i_{\text{дин}} = 21 \text{ кА};$$

$$B_{\text{к}} = 50,256 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 4,7^2 \cdot 3 = 66,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

За результатами перевірок, трансформатор струму задовільняє умови.

Трансформатор струму на низькій стороні трансформатора ГПП вибирається і розраховується так само. Тому подальші розрахунки занесемо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір трансформаторів струму в колах трансформатора ГПП

Тип ТТ	Розрахункові дані	Довідникові дані
ТА1 ТШЛ 10  Сторона НН трансформатора	$U_{\text{уст}} = 6 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} = 207,7 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2000 \text{ А}$
	$B_{\text{к}} = 5,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 14700 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{\text{уд}} = 8,1 \text{ кА}$	не перевіряються
	$r_2 = 0,375 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ном}} = 0,800 \text{ Ом}$
ТА2 ТФЗМ35  Сторона ВН трансформатора	$U_{\text{уст}} = 35 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{\text{max}} = 77,7 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$
	$B_{\text{к}} = 50,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 66,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
	$i_{\text{уд}} = 14,2 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 21 \text{ кА}$
	$r_2 = 0,425 \text{ Ом}$	$Z_{2\text{ном}} = 1,200 \text{ Ом}$

### 3.3 Вибір вимірювальних трансформаторів напруги

Такі трансформатори призначені задля зниження вагомості напруги до значення у 100 В, а так само для відділення ланцюгів вимірювання і захисту від первинних ланцюгів високої напруги.

До основних приладів, що підключаються до таких трансформаторів напруги на знижувальних підстанціях відносять лічильники активної та реактивної енергії, вольтметри, ватметри, варметри, і частотоміри. Навантаження трансформаторів напруги представлені в таблиці 4.4 [9, стор. 635, табл. П. 4.7].

Таблиця 3.4 - Навантаження трансформаторів напруги

Місце установки	Прилад	Тип	$S_{обм},$ В · А	$n_{обм}$	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$n_{приб}$	Необх потужн.	
								P, Вт	Q, ВАр
Сторона ВН трансформатора	Вольтметр	Э — 335	2,0	1	1	0	1	2,0	0,0
	Вольтметр	Н — 393	10,0	1	1	0	1	10,0	0,0
	Частотомер	Н — 397	7,0	1	1	0	1	7,0	0,0
	Ватметр	Д — 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Ватметр	Д — 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Лічильник W	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	1	0,02	0,0
	Лічильник V	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	1	0,02	0,0
Всього:								25,0	0,0
Сторона НН трансформатора	Вольтметр	Э — 335	2,0	1	1	0	2	4,0	0,0
	Ватметр	Д — 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Ватметр	Д — 335	1,5	2	1	0	1	3,0	0,0
	Лічильник W	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	4	0,08	0,0
	Лічильник V	СЭТ-4ТМ	0,02	—	—	—	4	0,08	0,0
Всього:								10,2	0,0

а) вибір трансформаторів напруги на стороні НН трансформатора.

Вибираємо установку трансформатора напруги типу НТМІ - 6

Параметри трансформатора напруги:

номінальна напруга  $U_{ном} = 6 \text{ кВ}$ ;

номінальна потужність  $S_{ном} = 50 \text{ ВА}$

клас точності 0,5.

Перевірка трансформатора напруги по напрузі установки, перевірка трансформатора напруги по вторинному навантаженню  $S_2 \leq S_{ном}$

Вторинне навантаження трансформатора навантаження із таблиці 3.4.

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{10,2^2 + 0,0^2} = 10,2 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{ном} = 50 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напруги підходить по результатам перевірок.

б) Вибір трансформаторів напруги на стороні ВН трансформатора.

Вибираємо установку трансформатора напруги типу ЗНОМ - 35

Параметри трансформатора напруги:

номінальна напруга  $U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ ;

номінальна потужність  $S_{ном} = 150 \text{ ВА}$

клас точності 0.5

Перевірка трансформатора напруги по напрузі установки  $U_{уст} \leq U_{ном}$

$$U_{уст} = 35 \text{ кВ} = U_{ном} = 35 \text{ кВ} ;$$

перевірка трансформатора напруги по вторинному навантаженні  $S_2 \leq S_{ном}$

Вторинне навантаження трансформатора напруги за табл. 3.4.

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{25,02 + 0,02} = 25,0 \text{ В} \cdot \text{А} < S_{ном} = 150 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Трансформатор напруги підходить за результатами перевірок .

Щоб з'єднати трансформатор напруги зі споживачами будемо використовувати контрольний кабель АКРВГз перетином жил  $q = 4 \text{ мм}^2$  згідно умови механічної міцності [9, стор. 375].

### 3.4 Електропостачання цеху

Електричне постачання цеху буде виконуватись в такій послідовності.

Розподіл приймачів за пунктами живлення, визначення розрахункових електричних навантажень, вибір способу та схеми прокладки мережі. Проводиться вибір перетинів мережі живлення за тривалим допустимим струмовим навантаженням з умови нагріву та перевірка їх по втраті напруги.

Далі вибираємо апарати захисту і силової розподільної мережі, узгоджуючи їх з апаратами захисту.

Будуємо карту селективності дії апаратів захисту для ділянки мережі проєктованого об'єкту.

Розраховуємо струми КЗ для ділянки цехової мережі від ТП до найпотужнішого електроспоживача. Всі дані які будуть отримані з розрахунку заносимо на карту селективності дії апаратів захисту.

Розраховуємо розподільні та живильні мережі по умовах допустимих втрат напруги.

### **3.5 Вибір захисних апаратів і перетинів живильних ліній**

Споживачі та РП.

Як за апарати захисту приймаємо автоматичні вимикачі серії ВА з електромагнітним розчеплювачем для захисту лінії від струмів КЗ і тепловим для захисту від перевантаження.

Вибір перетинів живильної ліній проводиться по тривало допустимого струмового навантаження з умови нагріву. Живлячі лінії РП, перевіряються по допустимій втраті напруги. Перетину кабелів узгоджуються з дією апаратів захисту.

Для живлення РП і окремих споживачів вибираємо кабель марки ВВГнг з прокладкою на стінах у лотках. Живлення здійснюється за радіальними лініями. Приклади вибору апаратури та кабелів.

а) Вибір відходячого вимикача ТП

Розрахункова потужність навантаження підстанції

$$S_{м.ПС} = 1791,6 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий струм навантаження підстанції:

$$I_{р.ПС} = \frac{S_{м.ПС}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1791,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2722,0 \text{ А}$$

Номінальний струм трансформаторів підстанції:

$$I_{ном.тр} = \frac{S_{ном.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1519,3 \text{ А}$$

Струм післяаварійного режиму трансформаторів підстанції:

$$I_{п/ав.тр} = 1,4 \cdot I_{ном.тр} = 1,4 \cdot 1519,3 = 2127,1 \text{ А,}$$

Пікова напруга підстанції:

$$I_{пик.ПС} = I_{пик}^{max.ПР} + I_{ном.тр} - I_{м}^{ПР} = 601,2 + 2722,0 - 225,7 = 3097,6 \text{ А}$$

Вибираємо до установки автомат марки ВА74-45 з параметрами :

$$I_{ном.ав} = 3000 \text{ А, } I_{тепл} = 3000 \text{ А [3, стор. 87, табл. П. 2.3].}$$

- перевірка вибраного автомата по нагріванню розрахунковим струмом:

$$I_{тепл} = 3000 \text{ А} > 1,1 \cdot I_{ном.тр} = 1,1 \cdot 2722,0 = 2994,2 \text{ А}$$

- перевірка вибраного автомата по нагріванню післяаварійний струмом

$$I_{пер} = 2 \cdot I_{тепл} = 2 \cdot 3000 = 6000,0 \text{ А} > I_{п/ав.тр} = 2127,1 \text{ А.}$$

- перевірка вибраного автомата за умовою перевантаження піковим струмом :

$$1,25 \cdot I_{пик.ПС} = 1,25 \cdot 3097,6 = 3872,0 \text{ А}$$

Коефіцієнт кратності струму спрацювання вставки:

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{пик.ПС}}{I_{тепл}} = \frac{3872,0}{3000} = 1,3$$

приймаємо 2.

Номінальний струм спрацювання вставки в зоні Короткого Замикання:

$$I_{е.о} = K \cdot I_{тепл} = 2,0 \cdot 3000 = 6000,0 \text{ А} > 1,25 \cdot I_{пик.ПС} = 3872,0 \text{ А.}$$

Прийнятий автомат проходить за результатами перевірок .



б) ділянка ТП - ПР1

Піковий та розрахунковий струм навантаження ПР1:

$$I_p = 195,5\text{А}$$

$$I_{\text{пик}} = 425,3\text{А}$$

Вибираємо до установки автомат марки: ВА57-35 з параметрами:

$$I_{\text{ном. ав}} = 250\text{А}, I_{\text{тепл}} = 250\text{А} [3, \text{стор. 87, табл. П. 2.3}].$$

- перевірка вибраного автомата по нагріванню розрахунковим струмом

$$I_{\text{тепл}} = 250\text{А} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 195,5 = 215,1\text{А}.$$

- перевірка вибраного автомата за умовою перевантаження піковим струмом:

$$1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 425,3 = 531,6\text{А}$$

Коефіцієнт кратності струму спрацювання вставки

$$K = \frac{1,25 \cdot I_{\text{пик}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{531,6}{250} = 2,1$$

Приймаємо 2,5.

Номінальний струм спрацювання вставки в зоні Короткого Замикання:

$$I_{\text{е.о.}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 2,5 \cdot 250 = 625,0\text{А} > 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 531,6\text{А}$$

Даний автомат проходить за результатами перевірок.

Вибираємо кабель марки ВВГ – 1 (4 × 120)  $I_{\text{доп}} = 260\text{А}$ .

- перевірка вибраного кабелю по нагріванню розрахунковим струмом

узгодження з дією апарату захисту

$$I_{\text{доп}} = 260\text{А} > I_p = 215,1\text{А}.$$

$$I_{\text{доп}} = 145\text{А} > \frac{K_z \cdot I_z}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 250}{1} = 250,0\text{А},$$

де  $I_z$ - струм вставки спрацювання захисного апарату, А;

$k_{\text{прокл}}$  - поправочний коефіцієнт на умові прокладки (за нормальними умовами прирівнюється до 1);

$k_3$  - кратність захисту (відношення тривало допустимого струму кабелю до номінального струму чи струму спрацьовування захисного апарату при короткому замиканні чи перевантаженні).

- перевірка по допустимій втраті напруги:

$$\Delta U_{p\%} = \Delta U_0 \cdot I_p \cdot l = 0,078 \cdot 195,5 \cdot 0,012 = 0,18\% < 5\%$$

де  $l$  - довжина даної лінії, км.

5% - допустима втрата напруги.

$\Delta U_0$  – відповідна втрата напруги в трифазних мережах 380 В, % / (А · км);

Кабель що був вибраний проходить за перевіркою.

в) Ділянка ПР1 - Калібрувальний стіл

Пусковий та номінальні струми навантаження:

$$I_{\text{ном}} = 51,6\text{А} \quad I_{\text{пуск}} = 258,2\text{А}$$

Вибираємо до встановлення автомат марки: ВА57-29 з параметрами

$$I_{\text{ном.ав}} = 250\text{А}, \quad I_{\text{тепл}} = 63\text{А} \quad [3, \text{стр. 87, табл. П. 2.3}].$$

Вибраний автомат перевіряємо по нагріванню номінальним струмом

$$I_{\text{тепл}} = 63\text{А} > 1,1 \cdot I_p = 1,1 \cdot 51,6 = 56,8\text{А}.$$

Вибраний автомат перевіряємо за умовою перевантаження пусковим струмом

$$1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,5 \cdot 258,2 = 387,3\text{А}.$$

Коефіцієнт кратності установки

$$K = \frac{1,5 \cdot I_{\text{пуск}}}{I_{\text{тепл}}} = \frac{387,3}{63} = 6,1,$$

Приймаємо значення рівне 12.

Номінальний струм спрацьовування вставки в зоні Короткого Замикання:

$$I_{\text{э.о.}} = K \cdot I_{\text{тепл}} = 12,0 \cdot 63 = 756,0\text{А} > 1,5 \cdot I_{\text{пуск}} = 387,3\text{А}.$$

Вибраний автомат проходить згідно результатів перевірок.

Вибираємо кабель маркований як ВВГ – 1 (4 х16)

$$I_{\text{доп}} = 75\text{А} [1, \text{стор. 66 – 68, табл. 3.6 – 3.9}].$$

- перевірка цього кабелю по нагріванню розрахунковим струмом

$$I_{\text{доп}} = 75\text{А} > I_{\text{ном}} = 56,8\text{А}.$$

-погодження з дією апарату захисту

$$I_{\text{доп}} = 95\text{А} > \frac{K_3 \cdot I_3}{K_{\text{прокл}}} = \frac{1 \cdot 63}{1} = 63,0\text{А}.$$

Вибраний кабель підходить згідно результатів перевірок.

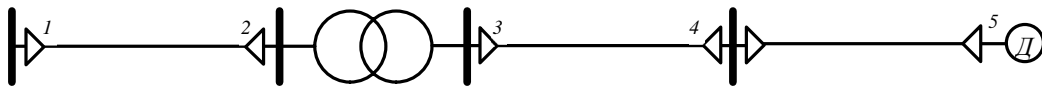
### 3.6 Побудова епюри відхилення напруги

Відповідно до ГОСТ для силових мереж промислових підприємств відхилення напруг не повинне перевищувати  $\pm 5\%$  від номінального значення. На шинах 6–10 кВ підстанції, до якої приєднані розподільні мережі, напруга повинна підтримуватися не нижче 105% номінального в період найбільших навантажень і не вище 100% номінального в період найменших навантажень мереж. Розглянемо ділянку ГПП - ТП 2 - ПР 6 - ЕП №56

Розрахункові дані приймача №56

$$P_{\text{ном}} = 40,0\text{кВт}; \quad Q_{\text{ном}} = 30,0\text{кВАр}; \quad S_{\text{ном}} = 50,0\text{кВА}.$$

ГПП ЛЕП6кВ ТП2РП ЛПП 0,4 кВ ПР6 ЛПП 0,4 кВ ЕП№56



ВББШВ -	ТМ-1000/10	ВВГ-	ВВГ <sub>нг</sub> -
2(3 × 70)	$S_{\text{ном}} = 1,00\text{МВА}$	1(4 × 120)	1(4 × 35) $l = 47,9\text{м}$ $U_{\text{к}} = 5,5\%$
$l = 15,6\text{м}$	$l = 14,9\text{м}$ $r_0 = 0,260\text{МОм/м}$	$P_{\text{кз}} = 12,2\text{кВт}$	$r_0 = 0,153\text{МОм/м}$ $r_0 = 0,520\text{МОм/м}$
$x_0 = 0,080\text{МОм/м}$	$n_{\text{тр}} = 2\text{шт}$	$x_0 = 0,060\text{МОм/м}$	$x_0 = 0,064\text{МОм/м}$
$n_{\text{ц}} = 2\text{шт}$		$n_{\text{ц}} = 1\text{шт}$	$n_{\text{ц}} = 1\text{шт}$

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема

Розрахунок максимального режиму навантаження на ділянці 1-2

Активний та реактивний опір на ділянці 1-2

$$R_{12} = \frac{r_{12} \cdot l_{12}}{n_{ц}} = \frac{0,260 \cdot 47,9}{2} \cdot 10^{-3} = 0,0060 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = \frac{x_{12} \cdot l_{12}}{n_{ц}} = \frac{0,080 \cdot 47,9}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0020 \text{ Ом}.$$

Протікаючі реактивні та активні потужності по ділянці 1-2

$$P_{12} = \sum P_{ц.ТП} = 1418,8 \text{ кВт}, \quad Q_{12} = \sum Q_{ц.ТП} = 1061,3 \text{ кВАр}.$$

Втрата напруги на ділянці 1-2

$$\Delta U_{12, \%} = \frac{P_{12} \cdot R_{12} + Q_{12} \cdot X_{12}}{10 \cdot U_1^2} = \frac{1418,8 \cdot 0,006 + 1061,3 \cdot 0,002}{10 \cdot 6,3^2} = 0,027\%$$

Втрата напруги на ділянці 1-2 в іменованих одиницях

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{12, \%} \cdot \frac{U_1}{100\%} = 0,027 \cdot \frac{6300}{100} = 1,7 \text{ В}.$$

Фактичне значення напруги в кінці в кінці ділянки 1-2

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12} = 6300 - 1,7 = 6298,3 \text{ В}.$$

Ділянка 2-3

Реактивні та активні складові значення напруги кз трансформатора:

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{ном.тр}} = \frac{12,2 \cdot 100}{1000} = 1,220,$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 + U_a^2} = \sqrt{5,5^2 + 1,220^2} = 5,363$$

Коефіцієнт загрузки трансформатора :

$$\beta = \frac{P_{12}}{n_{тр} \cdot S_{ном.тр}} = \frac{1418,8}{2 \cdot 1000} = 0,709$$

Втрати активної та реактивної потужності в трансформаторі

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot P_{12} = 0,02 \cdot 1418,8 = 28,4 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,10 \cdot P_{12} = 0,10 \cdot 1418,8 = 141,9 \text{ кВАр}$$

Активна, реактивна та повні потужності, які протікають по ділянці 2-3:

$$P_{23} = P_{12} - \Delta P_{тр} = 1418,8 - 28,4 = 1390,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{23} = Q_{12} - \Delta Q_{тр} = 1061,3 - 141,9 = 919,4 \text{ кВАр}.$$

$$S_{23} = \sqrt{P_{23}^2 + Q_{23}^2} = \sqrt{1390,4^2 + 919,4^2} = 1666,9 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт потужності на ділянці 2-3:

$$\cos \varphi = \frac{P_{23}}{S_{23}} = \frac{1390,4}{1666,9} = 0,834 \quad \sin \varphi = \frac{Q_{23}}{S_{23}} = \frac{919,4}{1666,9} = 0,552$$

Втрата :

$$\begin{aligned} \Delta U_{23,\%} &= \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) + \frac{\beta}{200} \cdot (U_a \cdot \sin \varphi - U_p \cdot \cos \varphi) \\ &= 0,709 \cdot (1,220 \cdot 0,834 + 5,363 \cdot 0,552) + \frac{0,709^2}{200} \\ &\quad \cdot (1,220 \cdot 0,552 - 5,363 \cdot 0,834) = 2,811\% \end{aligned}$$

Напряга на ділянці 2-3:

Втрата напруги на ділянці 2-3 в іменованих одиницях

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23,\%} \cdot \frac{U_2}{100\%} = 2,811 \cdot \frac{6298,3}{100} = 177,0\text{В.}$$

Фактичне значення напруги в кінці ділянки 2-3

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23} = 6298,3 - 177,0 = 6121,2\text{В.}$$

Фактичне значення напруги в кінці ділянки 2-3 з

урахуванням коефіцієнта трансформації :

$$U_3^{\text{нн}} = U_3 = 400 \cdot \frac{6121,2}{6300} = 388,7\text{В}$$

Ділянка 3.

Активний і реактивний опір ділянки 3-4

$$\begin{aligned} R_{34} &= \frac{r_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,153 \cdot 15,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,00240\text{м}, \\ X_{34} &= \frac{x_{34} \cdot l_{34}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 15,6}{1} \cdot 10^{-3} = 0,00090\text{м}. \end{aligned}$$

Активна та реактивна потужності, що протікають по ділянці 3-4

$$P_{34} = P_{\text{ПР}} = 127,1\text{кВт}, \quad Q_{34} = Q_{\text{ПР}} = 76,9\text{кВАр.}$$

Втрата напруги на ділянці 3-4

$$\Delta U_{34,\%} = \frac{P_{34} \cdot R_{34} + Q_{34} \cdot X_{34}}{10 \cdot U_3^2} = \frac{127,1 \cdot 0,0024 + 76,9 \cdot 0,0009}{10 \cdot 0,389^2} = 0,248\%$$

Втрата напруги на ділянці 3-4 в іменованих одиницях

$$\Delta U_{34} = \Delta U_{34,\%} \cdot \frac{U_3}{100\%} = 0,248 \cdot \frac{388,7}{100} = 1,0\text{В}$$

Фактичне значення напруги в кінці ділянки 3–4

$$4 U_4 = U_3 - \Delta U_{34} = 388,7 - 1,0 = 387,7\text{В.}$$

Ділянка 4-5

Активний та реактивний опір ділянки 4-5

$$R_{45} = \frac{r_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,520 \cdot 14,9}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0080\text{М}$$

$$X_{45} = \frac{x_{45} \cdot l_{45}}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,064 \cdot 14,9}{1} \cdot 10^{-3} = 0,0010\text{М}$$

Активна та реактивна потужності, що протікають по ділянці 4-5

$$P_{45} = P_{\text{ном}} = 40,0\text{кВт}, \quad Q_{45} = Q_{\text{ном}} = 30,0\text{кВАр.}$$

Втрата напруги на ділянці 4-5

$$\Delta U_{45,\%} = \frac{P_{45} \cdot R_{45} + Q_{45} \cdot X_{45}}{10 \cdot U_4^2} = \frac{40,0 \cdot 0,008 + 30,0 \cdot 0,001}{10 \cdot 0,388^2} = 0,225\%.$$

Втрата напруги на ділянці 4-5 в іменованих одиницях

$$\Delta U_{45} = \Delta U_{45,\%} \cdot \frac{U_4}{100\%} = 0,225 \cdot \frac{387,7}{100} = 0,9\text{В.}$$

Фактичне значення напруги в кінці ділянки 4-5

$$5 U_5 = U_4 - \Delta U_{45} = 387,7 - 0,9 = 386,8\text{В.}$$

Результати проведених розрахунків відображені в додаток 15.

Як видно з епюр відхилень напруги - втрати напруги в лініях відповідає нормі і прийняті перетину придатні для експлуатації.

### 3.7 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ

Розрахунок струмів КЗ в мережах до 1 кВ на відмінну від мереж вище 1кВ має такі особливості:

- напруга на шинах ЦТП приймається незмінною при Короткому Замиканні до 1000 В;
- при розрахунку струмів КЗ враховуємо індуктивні та активні опори до точки КЗ всіх елементів мережі;

Розрахунок будемо проводити у іменованих одиницях;

Напругу приймаємо на 5% вище номінальної напруги мережі. Розрахунок струмів КЗ ведемо для ділянки ТП2 - ПР6 - ЕП №56.

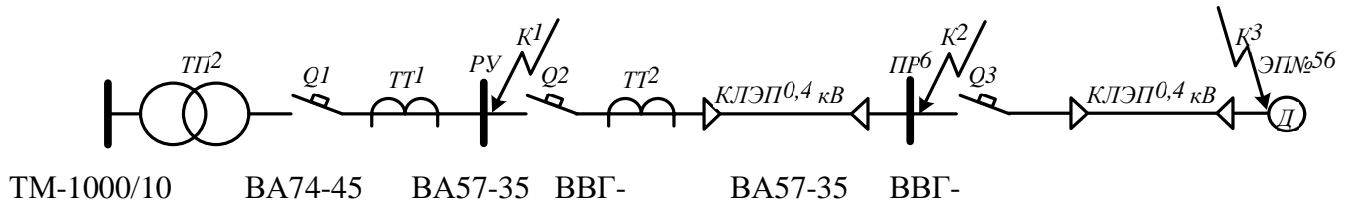


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема

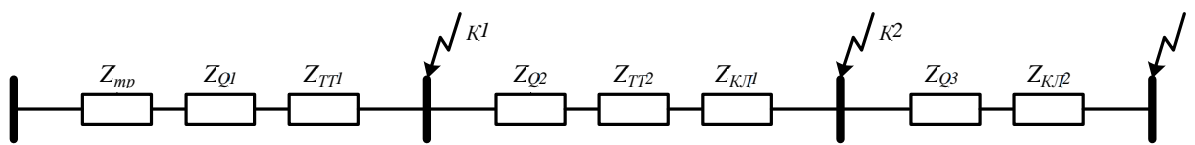


Рисунок 3.3 - Схема заміщення

Опори елементів.

Трансформатори

$$R_{\text{тр}} = \frac{U_a}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{1,220}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 2,0 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_p}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} = \frac{5,363}{100} \cdot \frac{400^2}{1000} = 8,6 \text{ мОм.}$$

Опір котушок максимального струму автоматів при номінальних струмах більше 1000 А не враховуються, з цього, опір автомата Q1 не враховуємо.

Автомати Q2, Q3

$$R_{Q2} = 0,36 \text{ мОм}, \quad X_{Q2} = 0,28 \text{ мОм},$$

$$R_{Q3} = 1,30 \text{ мОм}, \quad X_{Q3} = 0,86 \text{ мОм},$$

Опір первинної обмотки трансформаторів струму з коефіцієнтом трансформації  $>1000/5$  не враховується, за цим, опір трансформатора струму ТС1 не враховуємо.

Трансформатор струму ТС2

$$R_{TC2} = 0,20\text{МОм}, \quad X_{TC2} = 0,30\text{МОм}.$$

Кабельна лінія КЛ1

$$R_{\text{КЛ1}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,153 \cdot 15,6}{1} = 2,4\text{МОм},$$

$$X_{\text{КЛ1}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,060 \cdot 16,6}{1} = 0,9\text{МОм}$$

Кабельна лінія КЛ2

$$R_{\text{КЛ2}} = \frac{r_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,520 \cdot 14,9}{1} = 7,7\text{МОм},$$

$$X_{\text{КЛ2}} = \frac{x_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,064 \cdot 14,9}{1} = 0,9\text{МОм}$$

Розрахунок струму кз для точки К1.

Опір до точки К1

$$Z_{\text{К1}} = Z_{\text{тр}} = \sqrt{R_{\text{тр}}^2 + X_{\text{тр}}^2} = \sqrt{2,0^2 + 8,6^2} = 8,8\text{МОм}$$

Струм кз в точці К1

$$I_{\text{К1}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 8,8} = 26,2\text{кА}$$

Постійна часу

$$T_{a1} = \frac{X_{\text{рез1}}}{\omega \cdot R_{\text{рез1}}} = \frac{8,6}{314 \cdot 2,0} = 0,0140\text{с}$$

Ударний коефіцієнт

$$k_{\text{уд1}} = 1 + e^{-0,01/T_{a1}} = 1 + e^{-0,01/0,0140} = 1,490.$$

Ударний струм кз в точці К1

$$i_{\text{уд,К1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд1}} \cdot I_{\text{К1}} = \sqrt{2} \cdot 1,490 \cdot 26,2 = 55,3\text{кА}$$

Подальші розрахунки зведемо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 - Розрахунок струмів к. з. для розглянутої ділянки

Точка КЗ	$Z_{\Sigma}$ МОм	$k_{\text{уд}}$ —	$T_a$ , сек	$I_{\text{к}}$ , кА	$i_{\text{уд}}$ , кА
К1	8,8	1,490	0,0140	26,2	1,5
К2	11,2	1,218	0,0066	20,6	35,4
К3	18,3	1,025	0,0027	12,6	18,3



### 3.8 Побудова карти селективності дії апаратів захисту

Для побудови карт селективності під час струмових осях будуються характеристики захисту, які мають будь-який тип струмових захистів (струмові реле, реле, запобіжники, автоматичні вимикачі тощо). Захисні електричні апарати розташовуються послідовно в одній площині, на одній карті зазвичай відображаються тимчасові характеристики для 2-3 пристроїв.

Карти селективності зазвичай кресляться тих захистів, які слід відбудовувати друг від друга по струму і з напрузі, і які у найбільш віддаленій точці електромережі. Уставки захисту вважаються селективними, якщо їх часо-струмові характеристики не накладаються один на одного або не перетинаються.

На карті селективності відображаються:

- струми електричних захисних апаратів;
- максимальні та мінімальні величини струмів короткого замикання у різних точках електричної схеми;
- час спрацьовування захисту

За цими струмами вибираються та узгоджуються деякі уставки захисту.

Дані навантаження і апаратів захисту для побудови карти селективності, а так само сама карта селективності наведені в додатку 15

### 3.9 Перевірка цехової мережі 0,4 кВ за умовою спрацьовування захисту від однофазного КЗ

Забезпечення відключення апаратами захисту струмів трифазного КЗ не є гарантією відключення однофазного КЗ, з тієї причини, що струми однофазного короткого замикання в кілька разів менше струмів трифазного КЗ. У мережах напруги 380 В необхідно швидке відключення пошкодження. Це досягається високою провідністю петлі фаза нуль.

Розрахунок напруги КЗ ведемо для ділянки ТП2–ПР6–ЭП№56.

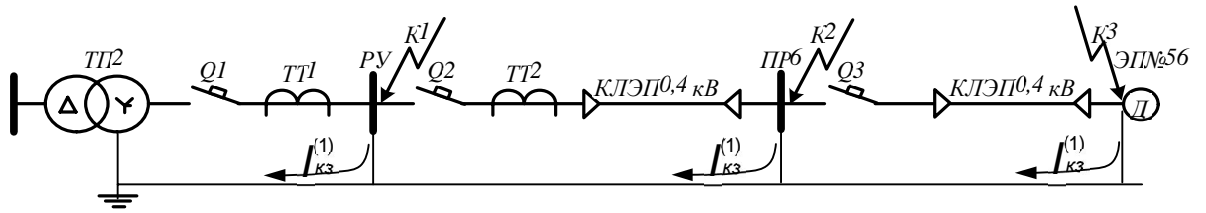


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема

Опори елементів.

Опір трансформатора струму однофазного замикання на корпус [2, стор. 60, табл. 4.6].

Опір котушок максимального струму автоматів при номінальних токах більше 1000 А не враховуються, виходячи з цього, опір автомата Q1 не враховуємо.

Автомати Q2, Q3

$$R_{Q2} = 0,36 \text{ мОм}, \quad X_{Q2} = 0,28 \text{ мОм},$$

$$R_{Q3} = 1,30 \text{ мОм}, \quad X_{Q3} = 0,86 \text{ мОм},$$

Опору первинної обмотки трансформаторів струму з коефіцієнтом трансформації  $>1000/5$  не враховується, за цим, опір трансформатора струму ТС1 не враховуємо.

Трансформатор струму ТС2

$$R_{ТТ2} = 0,20 \text{ мОм}, \quad X_{ТТ2} = 0,30 \text{ мОм}.$$

Кабельна лінія КЛ1

активний опір основних провідників:

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\phi}} = \frac{0,153 \cdot 15,6}{1} = 2,4 \text{ мОм}$$

активний опір нульового провідника [1, стор. 143, табл. 6.22]:

$$R_{H1} = \frac{r_H \cdot l}{n_H} = \frac{0,363 \cdot 15,6}{1} = 5,7 \text{ мОм}$$

Зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль [2, стор. 61]:

$$X'_1 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 15,6}{1} = 9,4 \text{МОм}$$

Кабельна лінія КЛ2

активний опір основних провідників:

$$R_{\phi 1} = \frac{r_{\phi} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,520 \cdot 14,9}{1} = 7,7$$

активний опір нульового провідника [1, стор. 143, табл. 6.22]:

$$R_{\text{н2}} = \frac{r_{\text{н}} \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{1,242 \cdot 14,9}{1} = 18,5 \text{МОм}$$

зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль [2, стор. 61]

$$X'_2 = \frac{x' \cdot l}{n_{\text{ц}}} = \frac{0,600 \cdot 14,9}{1} = 8,9 \text{МОм}$$

Опір дуги в точці к.з. [2, стор. 61]

$$R_{\text{д}} = 0,03 \text{МОм}$$

Опір живильної системи [2, стор. 61]

$$X_{\text{с}} = 3,2 \text{МОм}$$

Тільки для проводів виконаних зі сталі, враховується внутрішній індуктивний опір проводів занулення [2, стор. 61].

Спрощена рекомендована формула для розрахунку струму однофазного КЗ:

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_{\text{н}}}$$

$U_{\phi}$  - фазна напруга мережі, В.

Для точки К.1 - розрахунок струму кз:

Опір петлі фаза нуль до т. К.1:

$$Z_{\text{н1}} = \sqrt{R_{\text{д}}^2 + X_{\text{с}}^2} = \sqrt{0,03^2 + 3,2^2} = 3,2 \text{МОм}$$

Струм кз в т. К1:

$$I_{\text{к1}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_{\text{н1}}} = \frac{220}{9,0 + 3,2} = 18,0 \text{кА}$$

Перевірка умови:

$$I_{K1}^{(1)} = 18,0 \text{ кА} > 3 \cdot I_{\text{ном.расц}} \Rightarrow 3 \cdot 3,000 = 9,0 \text{ кА},$$

отже, в разі однофазного КЗ в точці К1 автомат, що захищає відходить лінію на ТП, повинен безвідмовно працювати.

Подальші розрахунки зведемо в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 Розрахунок струмів к.з. для розглянутої ділянки

Точка КЗ	$Z_{\Sigma}$ МОм	$I_{\text{к}}$ , кА	$3 \cdot I_{\text{ном.розч}}$ , кА
К1	3,2	18,0	9,0
К2	15,7	8,90	0,75
К3	42,9	4,24	0,30

### 3.13 Висновки до розділу 3

В даному розділі визначено число і потужність цехових трансформаторів. Номінальна потужність цехових трансформаторів прийнята рівною 1000 кВА, мінімальне розрахункове число трансформаторів цехових ТП рівне п'яти. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв був вироблений для мінімального числа трансформаторів і для збільшеного числа цехових трансформаторів.

Розподільна мережа вище 1000 В по території підприємства виконана ізольованими дротами СИП- 3, що самонесущими, а так само трижильними кабелями з мідними жилами, з оболонкою з вулканізованого поліетилену, броньованого, із зовнішнім покриттям з полівінілхлоридного шланга марки ВБШв, з прокладенням по естакадах.

Наступним етапом було здійснення електропостачання цеху. Електроприймачі цеху живляться від розподільних шаф чотирижильними кабелями з мідними жилами з полівінілхлоридною ізоляцією марки ВВГ, з прокладенням по лотках. Захист електроприймачів і кабельних ліній здійснюється автоматичними вимикачами марки ВА.

Карта селективності, побудована за результатами вибору апаратів захисту показала, що селективність забезпечується. А епюра відхилення напруги, побудована для максимального і мінімального і післяаварійного режимів, показала, що в усіх режимах роботи у електроприймачів підтримується напруга в допустимих межах і вибрані перерізи придатні для експлуатації.

Крім того був розглянутий релейний захист трансформаторів ГПП і зроблений розрахунок диференціального захисту. Розрахований захист досить чутливий і може бути рекомендований до установки.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Вимоги виробничої санітарії

У забезпеченні умов високовиробничих праці науково-технічного персоналу важливу роль відіграє мікроклімат, тобто фактори виробничого середовища, що впливають на фізичний і емоційний стан людського організму.

Норми виробничого мікроклімату встановлені системою стандартів безпеки праці ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Таблиця 4.1 - Допустимі норми параметрів мікроклімату в робочій зоні виробничого приміщення

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С				Відносна вологість на робочих місцях- постійних і непостійних, ф%	Швидкість руху повітря на робочих місцях- постійних і непостійних, м/с
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
<b>Холодна</b>	Середня важкість II-а	23	24	17	15	75	Не більше 0,3
<b>Тепла</b>	Середня важкість II-а	27	29	18	17	65- при 25° С	0,4-0,2

Допустимі мікрокліматичні умови встановлені за критеріями допустимого теплового і функціонального стану людини на період восьми годинний робочої зміни. Вони не викликають пошкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть призводити до виникнення загальних і локальних відчуттів теплового дискомфорту, напрузі механізмів терморегуляції, погіршення самопочуття і зниження працездатності. Допустимі величини показників мікроклімату встановлюються у випадках, коли за технологічними вимогами, технічною

освітою і економічно обгрунтованим причин не можуть бути забезпечені оптимальні величини.

Таблиця 4.2 - Оптимальні норми параметрів мікроклімату в робочій зоні виробничого приміщення.

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, φ%	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	Середня важкість II-а	19-21	60 – 40	0,2
Тепла	Середня важкість II-а	21-23	60 – 40	0,3

Для даного об'єкту встановлені оптимальні величини показників мікроклімату. Для холодного періоду року використовується кондиціонування повітря та опалення. Пристрої систем вентиляції використовуються цілий рік. Теплозахисні екрани застосовуються в разі потреби, в основному в теплий період.

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 шкідливі речовини поділяють на 4 класи безпеки:

1. Надзвичайно небезпечні (ГДК <0,1 мг/м<sup>3</sup>);
2. Високонебезпечні (ГДК = 0,1,1 мг/м<sup>3</sup>);
3. Помірно небезпечні (ГДК = 1,10 мг/м<sup>3</sup>);
4. Малонебезпечні (ГДК > 10 мг/м<sup>3</sup>).

В даному цеху використовуються помірно небезпечні (ГДК = 1,10 мг/м<sup>3</sup>) шкідливі речовини (бензин, азотна і соляна кислоти). Основним заходом боротьби з шкідливими речовинами є застосування системи вентилявання.

Норми виробничої вентиляції встановлені згідно СНиП 2.04.05-91.

На робочому місці передбачається штучна припливно-витяжна загальнообмінна вентиляція з витратою повітря на одного працюючого не менше 60 м<sup>3</sup>/год.

Повітря, що надходить в приміщення в зимовий час, підігрівається на вході тепловими завісами, а охолоджується за допомогою проточно-витяжної

вентиляції. Механічна вентиляція забезпечує очистку викидається назовні повітря, що дуже важливо для повітряного середовища навколишнього підприємства.

Гігієнічне нормування вібрацій регламентує (ДСН 3.3.6.042-99) параметри виробничої вібрації і правила роботи з вібронебезпечними механізмами і обладнанням.

Таблиця 4.3 - Гігієнічні норми вібрації

Вид вібрації	Допустимий рівень вібростійкості, дБ, в активних полосах з середньо геометричними частотами, Гц					
	2	4	8	16	32,5	63
Технологічна	108	99	93	92	92	92

Вібрацію в розглянутому цеху можна спостерігати при роботі більшості обладнання. Для зниження рівня вібрації проводиться ретельне спостереження за вузлами обладнання, і, в разі необхідності, налаштування обладнання та заміна зношених частин установок.

Шум завдає великої шкоди, шкідливо діє на організм людини і знижує продуктивність праці. Втома робочих через сильного шуму збільшує число помилок при роботі, сприяє виникненню травм.

При нормування шуму використовують два методи: нормування по бокові спектру шуму, нормування рівня звуку. Таким чином, шум на робочих місцях не повинен перевищувати допустимих рівнів, значення яких наведені в ДСН 3.3.6.042-99. Тому для робочих місць цеху допустимий рівень звукового тиску в активній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц є 80 дБ, а допустимий еквівалентний рівень звуку 85 дБА.

При цьому виробничому процесі рівень шумів не виходить за нормативи.

Основним джерелом шуму на підстанції є гудіння трансформатора. Шум, створюваний трансформатором, не виходить за межі норм. Ніякі додаткові засоби захисту не передбачені.



Шум в розглянутому цеху може виникати тільки при використанні деяких видів обладнання, тому застосовуються індивідуальні засоби захисту від шуму, а так само звукоізоляція місць перетину огорожувальних конструкцій з інженерними конструкціями і укриття в кожухи джерел шуму. Як індивідуальні засоби захисту від шуму використовують спеціальні навушники, вкладиші у вушну раковину, протизвукові каски, захисна дія яких заснована на ізоляції й поглинання звуку.

Нормування ЕМП промислової частоти здійснюють по гранично допустимих рівнів напруженості електричного і магнітного полів частотою 50 Гц в залежності від часу перебування в ньому і регламентуються ДСН 239-96 «Державні санітарні правила та норми».

Джерелами електромагнітних полів є повітряні ЛЕП, що включають комутаційні апарати, пристрої захисту та автоматики.

В даному цеху деякий технологічне обладнання здатне створювати напруженість електричного поля на робочих місцях вище 5 кВ/м, при цьому застосовується раціональне розміщення обладнання, яке випромінює електромагнітну енергію, а робочі місця персоналу віддалені від джерел електромагнітних полів.

Штучне освітлення в виробничих приміщеннях повинно відповідати нормам, передбаченим ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Для безпечного продовження роботи, або виходу людей з приміщень при раптовому відключенні має бути передбачено аварійне освітлення. Тривале зниження напруги у найбільш віддаленій лампи не повинно бути більше 5%. Живлення аварійного освітлення повинно бути надійним і від незалежного джерела. Для аварійного освітлення повинні застосовуватися світильники, що відрізняються від світильників робочого освітлення типом або розміром, або на них повинні бути нанесені спеціальні знаки.

На об'єкті передбачено чотири системи освітлення: загальне, аварійне, евакуаційне та ремонтне. При цьому аварійне освітлення представляє близько 10% від загального освітлення.

Уздовж всіх головних коридорів, сходових кліток та над пожежним краном, передбачені евакуаційні світильники показують вихід. Дані світильники обладнані акумуляторними батареями і приладами автоматики, так що при зникненні напруги в мережі, автоматично включаються за допомогою власного джерела живлення.

Ремонтне освітлення передбачається в технічних приміщеннях, і здійснено переносними світильниками напругою живлення 36 В. Світильники підключаються за допомогою штепсельної розетки, яка розміщена в окремому корпусі разом з трансформатором 220 / 36В.

#### **4.2 Заходи з пожежної безпеки**

Основною причиною пожеж на підприємствах є порушення технологічного режиму. Це пов'язано з великою різноманітністю і складністю технологічних процесів. Основи протипожежного захисту визначаються ч. 3 ст. 55 Кодексу цивільного захисту.

Відповідальність за дотримання необхідного протипожежного режиму і своєчасне виконання протипожежних заходів покладається на керівника підприємства і начальника цеху.

На підприємстві на основі типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств розробляються об'єктові і цехові протипожежні інструкції.

У цих інструкціях визначені основні вимоги пожежної безпеки для даного цеху або ділянки виробництва.

Розглянутий цех відноситься пожежонебезпечної категорії В (в цеху застосовуються горючі і важкогорючі рідини, тверді горючі і важко горючі речовини і матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним тільки горіти).

Засоби пожежогасіння поділяють на первинні, стаціонарні та пересувні (пожежні автомобілі).

У приміщенні цеху встановлюється пожежний інвентар. Вибір типу та необхідна кількість вогнегасників здійснюється відповідно до Правил експлуатації та типових норми належності вогнегасників, затверджених наказом Міністерства внутрішніх справ України від 15 січня 2018 р. № 25.

такі первинні засоби пожежогасіння, як (з розрахунку на 800 м<sup>2</sup> площі, яка захищається):

- ручний вуглекислотні вогнегасники ВВК-1,4 (2 шт.), ВВК-3,5 (1 шт.);
- пінний вогнегасник (2 шт.);
- ящики з піском;
- азбест;
- відро;
- лопати і багор.

Крім того, в деяких приміщеннях цеху використовуються стаціонарні установки пожежогасіння.

В даному цеху можлива пожежа Класів В (пожежа горючих рідин і плавких твердих речовин) і Е (пожежа, пов'язаний з горінням електроустановок).

Для локалізації невеликих загорянь обслуговуючий персонал до прибуття пересувних засобів пожежогасіння повинен використовувати первинні засоби пожежогасіння, що знаходяться на пожежних щитах.

Первинні засоби пожежогасіння розміщуються поблизу місць найбільш вірогідного їх застосування, на увазі, в безпечному при пожежі місці, із забезпеченням до них вільного доступу.

У цеху використовуються пожежні гідранти надземного типу. Гідранти позначені вказівною табличкою. Пожежний рукав і вся необхідна арматура розташовується поруч з гідрантів в спеціальній шафі.

На підприємстві використовується система автоматичної пожежної безпеки, заснована на датчиках різних видів (димові, теплові, датчики полум'я). У разі виникнення пожежі, спрацьовує система оповіщення - подається світловий і звуковий сигнал про небезпеку. Крім того, з'являються світлові табло із зазначенням аварійних виходів і схем евакуації людей. Одночасно спрацьовує

система пожежогасіння (порошкові устаткування пожежегасіння), а пристрій зв'язку, передає інформацію на пульт централізованого спостереження.

### **4.3 Заходи передбачені під час надзвичайних ситуацій**

До надзвичайних ситуацій відносяться військові дії, аварії, катастрофи, пожежі, стихійні лиха. Стихійні лиха - явища природи, що виникають раптово. Вони носять надзвичайний характер і призводять до порушення нормального життя, загибелі людей та знищення матеріальних цінностей. До стихійних лих звичайно відносять землетруси, повені, селеві потоки, зсуви, снігові замети та ін.

Більшість з перерахованих надзвичайних ситуацій можуть трапитися на даному підприємстві. Для підвищення стійкості до них передбачені різні заходи:

1. Для забезпечення безперебійної роботи в разі НС передбачено живлення від двох джерел електроенергії, віддалених на таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх у воєнний час одним ядерним ударом, а в мирний час - стихійним лихом або аварією, а також є резервні джерела живлення.

2. З метою зниження небезпеки вибуху застосовують вентиляційні установки, автоматична сигналізація, систематично контролюється температура вузлів електроустаткування. На кожному поверсі підприємства встановлена радіоточка для оповіщення людей про пожежу або інший НС.

3. Від прямих ударів блискавки встановлена блискавкозахист. Блискавкоприймачами служать неізольовані стрижневі громовідводи. Як струмовідводів використовують зовнішні вертикальні сталеві конструкції (пожежні сходи). По кожному поверху прокладені сталеві пояси з смугової сталі, до яких приєднуються струмовідводи, всі металеві конструкції і устаткування. Кожен струмовідвід такого пристрою приєднаний до замкнутого контуру, покладеному по периметру будівлі.

4. У якості профілактики від сезонних спалахів вірусу грипу регулярно проводиться вакцинація працюючих.

5. Для зниження ймовірності пожежі передбачена автоматична пожежна сигналізація. На випадок виникнення пожежі передбачені первинні засоби пожежогасіння.

Ліквідація наслідків стихійних лих організовується, як правило, під керівництвом спеціально створюваних надзвичайних комісій. Для безпосереднього здійснення заходів цивільної оборони (ЦО) і проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відновлювальних робіт на всіх об'єктах формуються служби ЦЗ.

На зведені зағони, крім порятунку людей, покладаються невідкладні аварійно-відновлювальні роботи, гасіння пожеж, знезараження ділянок місцевості, транспорту, техніки.

Важливою умовою швидкої ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій є дотримання громадського порядку. Персонал, що знаходиться на території підприємства повинен виявляти високу дисципліну, організованість, спокій, не піддаватися паніці. Для цього на підприємстві кілька разів на рік проводяться теоретична підготовка та практичні тренінги.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведені дослідження забезпечення надійності системи електропостачання підприємства виготовлення пластикових вікон.

1. На основі особливостей технологічних процесів підприємства показано необхідність комплексного підходу щодо застосування технічних засобів забезпечення надійності.

2. Проведені розрахунків електричних навантажень підприємства показали, що потужність з компенсацією реактивної потужності на ГПП становить 4475,1 кВА.

3. Проведений вибір оптимальних схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства дозволив забезпечити рівномірного навантаження на секційних шинах 10 кВ та знизити втрати в розподільчій мережі.

4. Проведений вибір числа та потужності цехових трансформаторів дозволяє підвищити надійність за рахунок оптимального завантаження.

5. Проведені техніко-економічні розрахунки за приведеними витратами показали доцільність встановлення на ГПП трансформаторів потужністю 2500 кВА.

6. Обґрунтовано необхідність компенсації реактивної потужності на ланках 0,4 кВ на потужність 2129,7 кВАр. Запропоновано встановлення конденсаторних установок типу УК 0,38-450-УЗС, що дозволяє знизити втрати електричної енергії.

7. На основі розрахунків струмів короткого замикання проведений вибір комутаційного та захисного обладнання на ланках 35 кВ, 10 кВ, що дозволяє забезпечити надійність роботи в аварійних режимах.

8. Побудована карта селективності дії захисного обладнання показали забезпечення надійності в різних режимах роботи.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кабышев А.В., Обухов С. Г. Розрахунок і проектування систем електропостачання об'єктів і установок : Навчань. посібник - Томськ: Вид-во ТПУ 2006.
2. Мельников М.А. Внутрішньоцехове електропостачання: Навчань. посібник. - Томськ: Вид-во ТПУ, 2002.
3. Гаврилин А.И., Обухов С. Г., Озга А.И., Електропостачання промислових підприємств. Методичні вказівки до виконання випускної роботи бакалавра, Томськ, ТПУ, 2001.
4. Барченко Т. Н., Закиров Р. І., Електропостачання промислових підприємств. Навчальний посібник до курсового проекту, Томськ, ТПИ, 1988.
5. Климова Г. Н. Спеціальні питання електропостачання промислових підприємств : навчальний посібник/ Г. Н. Климова, А.В. Кабышев - Томськ: Вид-во Томського політехнічного університету, 2009.
6. Довідник по проектуванню електроенергетичних мереж / під ред. Д.Л. Файбисовича. - М.: Вид-во НЦ ЭНАС, 2005.
7. Гачків И.П. та ін. Електрична частина електростанцій і підстанцій : Довідкові матеріали для курсового і дипломного проектування. Навчань. посіб. 3-е видавництво, перераб. і доп. - М.: Енергія, 1978.
8. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Електропостачання промислових підприємств і установок : Навчань. посіб. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
9. Ополева Г. Н. Схеми і підстанції електропостачання : Довідник: Навчань. посіб. - ФОРУМ:ИНФРА-м, 2006.
10. Мельников М.А. Релейний захист і автоматика елементів систем електропостачання промислових підприємств : Навчальний посібник. - Томськ: Вид-во ТПУ, 2004. - 178 с.
11. Копьев В. Н. Релейний захист основного елек-рооборудованих електростанцій і підстанцій. Питання проектування : Навчальний посібник. 2-е видавництво, испр. і доп.- Томськ: Видавництво ЕЛТИ ТПУ, 2005. - 107 с.

12. Фінансовий менеджмент, ресурсоефективність і ресурсозберігання : навчально-методичний посібник // И.Г. Видяев, Г. Н. Серикова, Н.А. Гаврикова Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина; Томський політехнічний Університет.-Томськ: Вид-во Томського політехнічного університету, 2014.-36с
13. ГОСТ 12.1.038-82 (2001) ССБТ. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруги дотику і струмів.
14. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
15. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. ... Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258 ] / М-во палива та енергетики України. - Х. : Індустрія : Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.
16. Бабюк, С. М., М. Коневич, Я Пліс. (2020). Шляхи підвищення енергоефективності систем електропостачання. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 2, 82-83.
17. Бабюк, С. М., Приймак, М. Д., & Паськів, Р. В. (2017). Підвищення енергоефективності підприємств за рахунок контролю характеристик режимів електропостачання. Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “, 3, 90-91.
18. Orobchuk, B., Sysak, I., Babiuk, S., Rajba, T., Karpinski, M., Klos-Witkowska, A., ... & Gancarczyk, J. (2017, September). Development of simulator automated dispatch control system for implementation in learning process. In 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) (Vol. 1, pp. 210-214). IEEE.
19. Бабюк С. , Клебан К. , Танасійчук В. Шляхи підвищення надійності електропостачання // Зб. наук. праць / Терн. нац. тех. універ. ім. І.Пулюя. Тернопіль, 2021. С. 61.