ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування факультету)
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання
(повна назва кафедри)
та енергетичного менеджменту

Пояснювальна записка до бакалаврської дипломної роботи

Бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АВІС», м. ВІННИЦЯ»

Виконав: студент _5_ курсу, групи Е-17 мс
141 – Електроенергетика, електротехніка електромеханіка
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
Клешко В.А.
(прізвище та ініціали)
Керівник _____Терешкевич Л.Б.
(прізвище та ініціали)
Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Вінниця ВНТУ - 2020 року

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ 4
ВСТУП 6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО 8
1.1 Відомості про підприємство 8
1.2 Вихідні дані для проектування 9
2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА 13
2.1 Розрахунок навантажень цехової мережі 13
2.1.1 Розрахунок електричних навантажень системи освітлення цеху 13
2.1.2 Розрахунок навантажень цехової мережі 14
2.2 Розрахунок електропостачання підприємства 19
2.2.1 Розрахунок навантажень підприємства. 19
2.2.2 Вибір схеми електропостачання підприємства та картограма навантажень 20
2.2.3 Вибір потужності трансформаторів цехових ТП 23
2.2.4 Компенсація реактивних навантажень ТП 25
2.2.5 Вибір кабельних ліній 10 кВ 26
2.2.6 Вибір електрообладнання ЦРП 28
2.2.6.1 Розрахунок струмів КЗ на стороні 10 кВ 28
2.2.6.2 Вибір вимикачів 10 кВ 30
2.2.7 Вибір електроустаткування 0,4 кВ трансформаторних підстанцій 32
2.2.7.1 Розрахунок струмів КЗ на стороні 0,4 кВ 32
2.2.7.2 Вибір шин 34
2.2.7.3 Вибір автоматичного вимикача 35
2.3 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі 36
2.4 Вибір елементів схеми заводської розподільчої мережі напругою 0,4 кВ 41
3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 43

3.1 Технічна необхідність керування реактивною потужністю в електричних мережах 43
3.2 Компенсація реактивної потужності за допомогою БСК 43
3.3 Способи КРП 48
3.4 Системні дослідження роботи БСК в системах електропостачання 51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ 58
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту 59
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії 62
4.2.1 Мікроклімат 62
4.2.2 Склад повітря робочої зони 63
4.2.3 Виробниче освітлення 64
4.2.4 Виробничий шум 65
4.2.5 Вібрація 67
4.6 Пожежна безпека 68
ВИСНОВКИ 70
ДОДАТКИ 71
Додаток А. Генплан підприємства з електричними мережами 72
Додаток Б. Однолінійна схема електропостачання підприємства 73
Додаток В. План цеху з електричними мережами 74
Додаток Г. Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху 75
Додаток Д. Компенсація реактивних навантажень в системах електропостачання 76

АНОТАЦІЯ

Клешко В.А., Розробка системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «АВІС», м. Вінниця. Бакалаврська дипломна робота. Вінниця. ВНТУ, 2020 77 с. Іл.: 15 Табл: 21.

В бакалаврській роботі в повному обсязі виконані розрахунки системи електропостачання ТОВ «Авіс».

Розрахунки виконані на основі діючих норм проектування промислових електричних мереж.

В роботі вибрано сучасне електрообладнання, що сприяє безпечній експлуатації електрообладнання та електричних мереж, забезпечені необхідні показники якості електроенергії біля її електроприймачів як в нормальних, так і в післяаварійних режимах.

SUMMARY

Kleshko V.A, Development of the power supply system of AVIS Limited Liability Company, Vinnitsa. Bachelor's Thesis. Vinnitsa. VNTU, 2020 77 p. Ill 15.: Table: 21.

In the bachelor's work in full the calculations of the power supply system of LLC "Avis".

The calculations are made on the basis of the current norms of designing industrial electrical networks.

In the work modern national electrical equipment was selected, which contributes to safe operation of electrical equipment and electrical networks, and provides the necessary indicators of the quality of electricity near its electric receivers in both normal and after emergency modes.

ВСТУП

Актуальність теми. Основними споживачами електричної енергії в нашій державі являються промислові підприємства, які витрачають близько 70% електричної енергії, що виробляється.

Система електропостачання даних підприємств повинна задовільняти вимоги надійності, економічності, зручності, і безпеки експлуатації, забезпечувати відповідну якість електричної енергії [2,6].

Надійність електропостачання забезпечується вибором найбільш досконалих електричних апаратів, силових трансформаторів, кабельно-провідникової продукції, відповідністю електричних навантажень в нормальних і аварійних режимах номінальним навантаженням цих елементів, використанням структурного резервування, пристроїв автоматики і релейного захисту [8].

Спорудження електричних мереж та підстанцій систем електропостачання пов'язані з великими матеріальними затратами. Тому при проектуванні повинен проводитись детальний аналіз економічності проектних рішень та режимів роботи всіх елементів системи електропостачання.

Прийняття проектних рішень безпосередньо впливає на об'єм і трудомісткість монтажних робіт, зручність та безпечність експлуатації електротехнічних установок систем електропостачання. Тому робота, в якій розроблена система електропостачання, є актуальною.

Мета бакалаврської роботи – провести аналіз системи електропостачання ТОВ «АВІС» з метою забезпечення економічного та надійного електропостачання технологічного процесу виробництва.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв’язуються такі основні задачі:

– визначення розрахункових навантажень;

– розрахунок системи електропостачання одного із виробничих підрозділів;

– вибір комутаційного та захисного електрообладнання;

– розрахунок системи електропостачання підприємства.

Об'єктом дослідження є процес проектування системи електропостачання ТОВ «АВІС».

Предметом дослідження є розробка систем зовнішнього внутрішнього та цехового електропостачання.

Методи розрахунку. Розрахунок навантажень маргарино-майонезного цеху проводиться за методом коефіцієнта розрахункового максимума. Розрахунок активної і реактивної потужності силового обладнання цехів підприємства проводиться за методами коефіцієнта попиту та питомої потужності освітлення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в подальшому розвитку методик проектування для умов ТОВ «АВІС».

Практичне значення одержаних результатів полягає в отриманні проектних рішень, які задовільняють вимогам надійності, економічності, зручності, і безпеки експлуатації і забезпечують відповідну якість електричної енергії для системи електропостачання ТОВ «АВІС».

*Особистий внесок автора***.** Усі результати, що представлені в бакалаврській дипломній роботі, отримані особисто.

Апробація результатів бакалаврської дипломної роботи. Викладені в роботі результати апробацію на конференціях не проходили.

Публікації. Публікації по роботі відсутні.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Відомості про підприємство

ТОВ "Підприємство "АВІС" виробляє різноманітні продукти харчування, необхідні людям кожен день. У багатьох українських супермаркетах можна зустріти легкі масла, майонези, безалкогольні напої та іншу продукцію, на якій стоїть бренд "АВІС". Все розмаїття виробів випускається на найновішому обладнанні досвідченими майстрами своєї справи і відповідає світовим стандартам якості. Всі наші торгові марки отримують рекламну підтримку, за рахунок чого краще продаються, тому торговельним організаціям вигідно співпрацювати з нами.

Одним з найважливіших напрямків діяльності підприємства є виробництво майонезів, маргаринів, соусів, рослинних і легких масел. Масложировий завод, що входить у структуру компанії, випускає більше десятка найменувань легких масел і маргаринів.

Підприємство виробляє високоякісне рослинну олію методом віджимання. Дана технологія примітна тим, що забезпечує збереження в готовому продукті максимальної кількості корисних речовин.

В "Сімейній пекарні" компанії "АВІС" ретельно культивується домашній підхід до виробництва хлібобулочних і кондитерських виробів. Випічка здійснюється в справжніх кам'яних печах, завдяки чому пряники, печиво та інша продукція виходить надзвичайно смачною.

Пріоритетною лінією роботи підприємства є випуск напоїв на основі натуральних соків. Заводом проводиться п'ять серій соковмісних продуктів, два найменування питної води, а також запашні кваси.

Всі продукти харчування, що випускаються під маркою "АВІС", фасуються в пластикову тару власного виробництва. Завод полімерної упаковки виготовляє десятки видів баночок, стаканчиків і інших ємностей.

Компанією виробляється:

олія сира соняшникова та сафлорова,

олія рафінована соняшникова, сафлорова,

дегра; залишки жирових речовин та тваринного чи рослинного воску,

маргарин та пасти з малим вмістом жирів (крім маргарину рідкого),

продукти харчові з жирів та олій інші, у т. ч. маргарин рідкий,

приправи та смакові добавки змішані,

майонез, соуси емульговані інші,

напої прохолоджувальні (у т. ч. води мінеральні підсолоджені),

бутлі обплетені, пляшки, фляги та аналогічні вироби з пластмас місткістю не більше 2 л,

бутлі обплетені, пляшки, фляги та аналогічні вироби з пластмас місткістю понад 2 л,

пробки, кришки та аналогічні засоби для закривання з пластмас,

Компанія експортує товари в такі країни:

Австрія, Китай, Кіпр, Грузія, Німеччина, Індія, Японія, Литва, Молдова, Нідерланди, Польща, Румунія, Іспанія, Сполучені Штати.

За 15 років існування створено три високорентабельних підприємства - масложировий завод, завод безалкогольних напоїв та завод полімерної упаковки. Побудована також система власної дистрибуції по території України.

Вся продукція компанії "АВІС" виготовляється на новому сучасному обладнанні, що відповідає українським та світовим стандартам харчової промисловості.

1.2 Вихідні дані для проектування

На рисунку 1.1 представлено генеральний план ТОВ «АВІС», а в таблиці 1.1 – відомості про електричні навантаження підприємства.

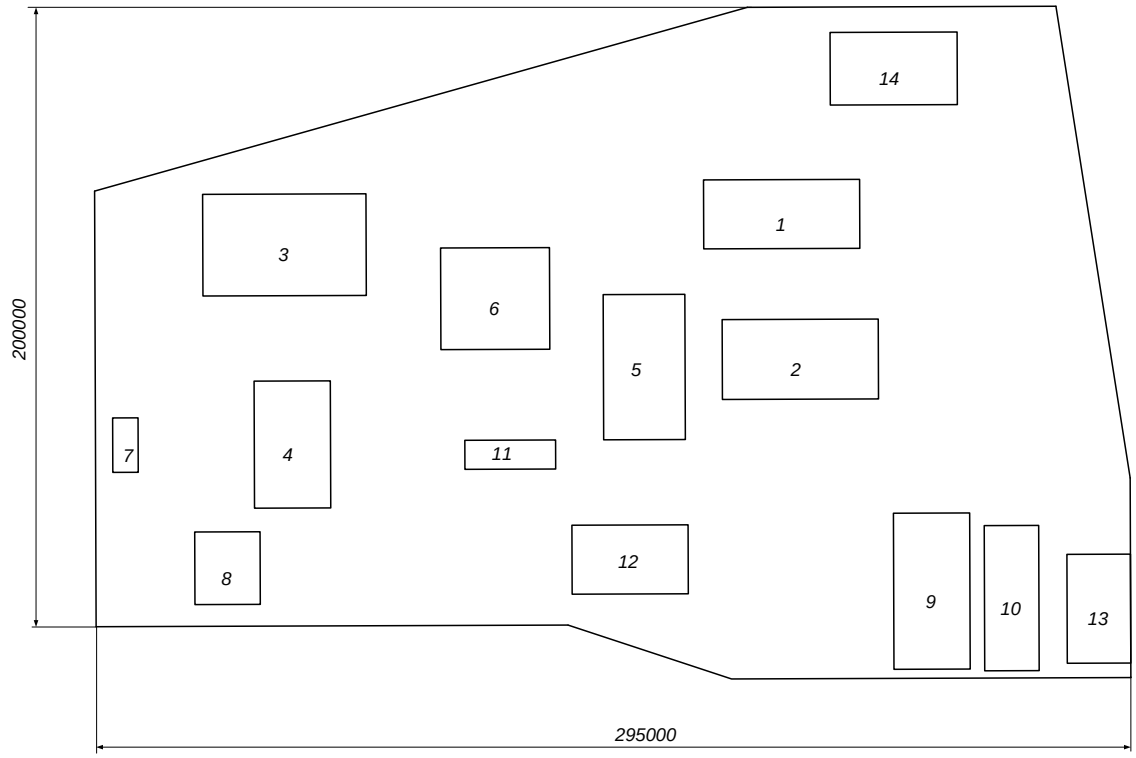


Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження підприємства

Назва підрозділу	$P_н$, кВт	K_c	cosφ	tgφ	S,м^2
1.Олієочисний завод №1	134	0,56	0,6	1,3	800
2.Олієочисний завод №2	130	0,56	0,6	1,3	950
3.Маргарино-майонезний цех №1	302,5	0,46	0,75	0,88	1275
4.Маргарино-майонезний цех №2	193,3				750
5. Завод безалкогольних напоїв	130	0,5	0,75	0,88	900
6. Завод полімерної упаковки	120	0,3	0,65	1,17	850
7.Холодильно-компресорна станція	60	0,4	0,8	0,75	100
8.Котельня	21	0,6	0,75	0,88	360
9.Склад №1	95	0,5	0,75	0,88	900
10.Склад №2	90	0,4	0,75	0,88	600
11.Повітряно-компресорна станція	300	0,5	0,8	0,75	200

12.Механічна майстерня	316	0,4	0,75	0,88	600
13.Гараж	50	0,3	0,65	1,17	525
14. Очисні споруди	70	0,9	0,8	0,75	700

Одним із виробничих підрозділів ТОВ «АВІС» є маргарино-майонезного цех №2. Приміщення маргарино-майонезного цеху №2 має розміри S = 18 × 36 м^2, висота 5м, приміщення з підвищеною вологістю.

На рис 1.2 наведено план силового електроустаткування цеху, а перелік основного електрообладнання та відомості про його електричне навантаження в таблиці 1.2.

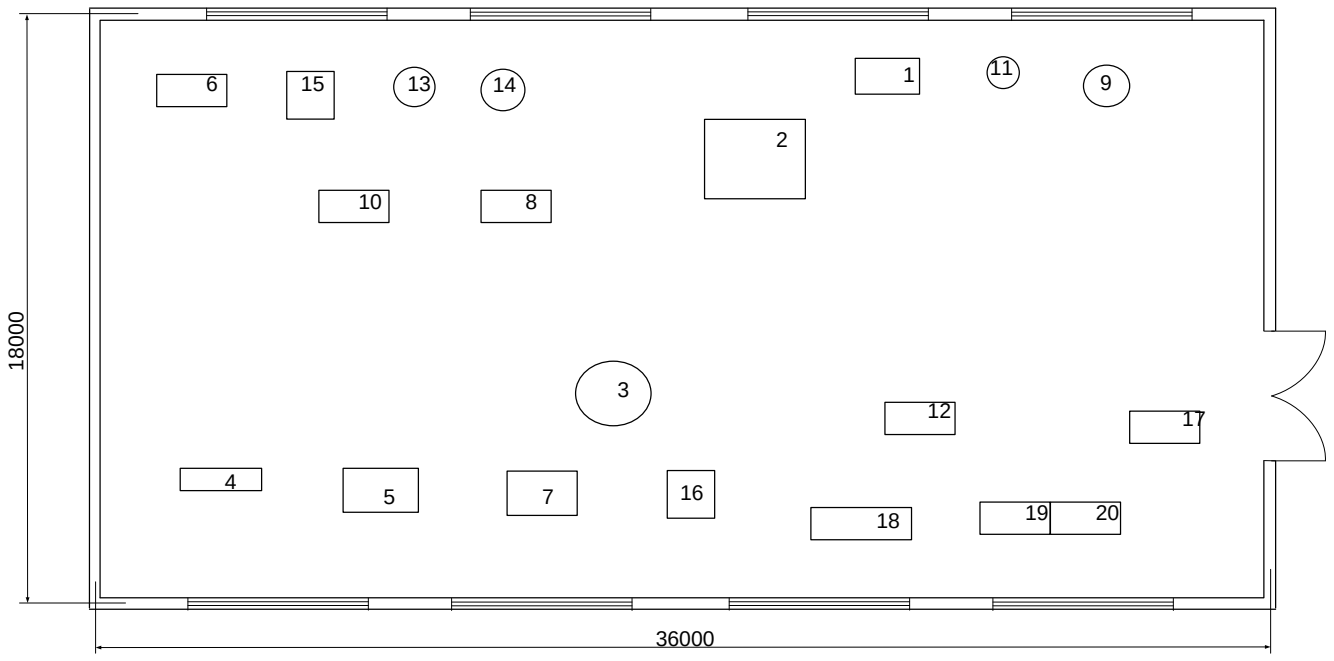


Рисунок 1.2 – Технологічні планування маргарино-майонезного цеху №2

Таблиця 1.2 –Технічні дані електроприймачів маргарино-майонезного цеху №2

Назва споживача	n. шт	$P_н$,кВт	$K_в$	tgφ
3.Змішувач	1	2,2	0,43	1,02
9.Ванна змішування	1	2,2	0,43	1,02
4. Машина фасовки масла	1	5	0,5	1,02
5.Машина брикетної фасовки масла	1	3	0,5	1,5
13,14. Змішувачі №1, №2	2	2,2	0,6	0,88
6. Міксер-витримувач	1	7,5	0,6	0,75
10. Насос котла	1	4	0,7	0,75
11.Насос котла градирні	1	3	0,7	0,75
15. Насос №1	1	6	0,7	0,75
16.Насос №2	1	7	0,7	0,75
7. Насос маслооброблювальний	1	8	0,75	0,75
2. Маслоутворювач	1	6	0,4	1,17
17.Водонагрівник продувочної води	1	30	0,56	0,62
1.Котел водогрійний технічної води	1	4	0,6	0,88
8.Котел водогрійний ванни змішання	1	7	0,6	0,88
12.Котел електродний	1	5	0,6	0,88
18. Котел водогрійний ванни емульсії	1	30	0,6	0,88
19,20. Жиротопки №1,№2	2	30	0,8	0,75

За надійністю електропостачання підприємство в цілому і маргарино-майонезний цех №2 зокрема відносяться до II категорії.

Джерелом живлення підприємства є системна підстанція 110/10 кВ «Нова», яка знаходиться на віддалі 4,2 км.

Потужність короткого замикання в точці приєднання системи складає 100 МВА. Вхідна реактивна потужність для підприємства, що задана енергосистемою, становить 150 квар.

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Розрахунок навантажень цехової мережі

2.1.1 Розрахунок електричних навантажень системи освітлення цеху

Зробимо розрахунок системи освітлення методом питомої потужності. В таблицях питомої потужності враховані:

- тип світильників;
- освітленість;
- коефіцієнти запасу та відбиття;
- значення розрахункової висоти;
- площа приміщень.

Для люмінесцентних світильників мають місце такі відмінності:

- таблиці наводяться тільки для освітленості 100 лк з пропорційним перерахуванням на іншу нормовану освітленість.

Алгоритм використання таблиць при люмінесцентних лампах такий [8]:

1. Вибираються всі рішення по освітленню приміщення, включаючи кількість рядів і спектральний тип лампи.

2. По відповідній таблиці знаходяться значення питомої потужності ω для ламп даної потужності.

3. Для тих же ламп визначається необхідна кількість світильників діленням ωS на потужність одного світильника.

Для світильників типу ПВЛМ (ІУ умовної групи) з лампами ЛБР80, який виберемо до установки, при $h_р$=3,6м та площі приміщення S=36*18=648 м^2 ω=4,1 Вт/м^2 при $E_н$=100 лк. $ω_{уточнене}$=8,2 Вт/м^2. Тоді необхідна кількість світильників знайдеться з формули:

$$N=\frac{\omega S}{2*80}=\frac{8,2*648}{2*80}=33 \text{світильника.}$$

Розрахуємо потужність освітлювальної мережі цеху.

$$P_{р\,о}=K_c \cdot P_{\Sigma н} \cdot K_{ПРА}; \quad (2.1)$$

де K_c-коефіцієнт попиту освітлювального навантаження

$K_{ПРА}$ - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулювальній апаратурі, $K_{ПРА}$=1,25.

$$P_{р\,о}=0,85*1,25*33*(2*0,08)=5,68 \text{ кВт};$$

$$Q_{р.о}=P_{р\,о}*tg\varphi_о=5,68 \cdot 0,33=1,86 \text{ квар}.$$

2.1.2 Розрахунок навантажень цехової мережі

Для розрахунку силового навантаження цеху необхідна інформація про схему цехової мережі. На етапі проектування системи електропостачання конфігурація схеми електропостачання намічається проектувальниками. На основі аналізу розміщення технологічного обладнання заводу, складаємо радіальну схему цехової мережі (рис. 2.1).

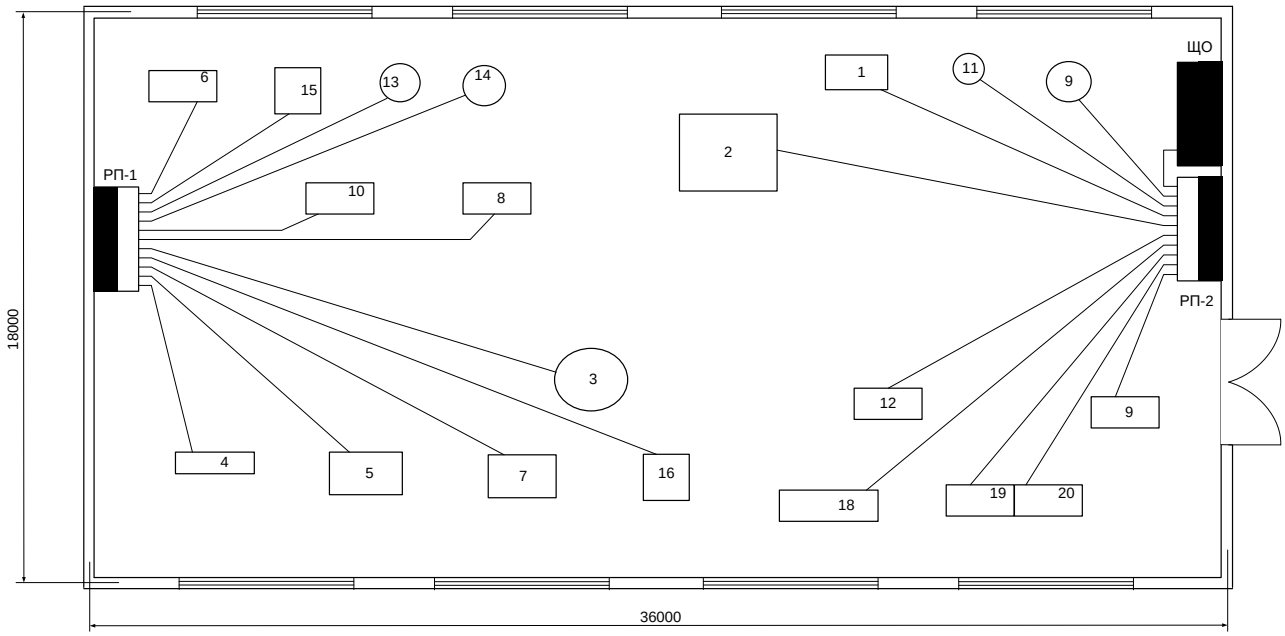


Рисунок 2.1 – План силової мережі маргарино-майонезного цеху №2

Розрахункові навантаження окремих електроприймачів (ЕП) або ліній, від яких живляться два чи три ЕП (І рівень), приймаються рівними номінальним [1]

$$P_м=P_н, \quad Q_м=P_м\cdot tg\varphi_н, \tag{2.2}$$

де $P_н$ – номінальна активна потужність ЕП;

$tg\varphi_н$ – номінальний коефіцієнт реактивної потужності, $tg\varphi_н$ = 0,87 – для ЕП повторно-короткочасного режиму роботи.

Номінальні величини визначають за паспортними даними ЕП. При їх відсутності приймають $tg\varphi_н$= 0,75 – для ЕП тривалого режиму роботи.

На ІІ рівні електропостачання використовують метод упорядкованих діаграм, розроблений Г.М. Каяловим [2].

ЕП кожного розподільчого пункту поділяють на дві групи: ЕП із змінним графіком навантаження (група А) і ЕП з практично постійним графіком навантаження (група Б).

Розрахункові навантаження визначають за формулами [1]:

для групи А:

$$P_м=K_м\cdot\sum_{i=1}^{n}K_{в.i}\cdot P_{н.i} \tag{2.3}$$

$$Q_м=\begin{cases}1{,}1\sum\limits_{i=1}^{n}K_{Bi}\cdot P_{нi}\cdot tg\varphi_{Ci} & \text{при } n_e\le 10\\ \sum\limits_{i=1}^{n}K_{Bi}\cdot P_{нi}\cdot tg\varphi_{Ci} & \text{при } n_e>10\end{cases}. \tag{2.4}$$

для групи Б:

$$Ð_{ì}=Ð_{ñ}=\sum_{3=1}^{n}\hat{E}_{Â3}\cdot Ð_{í3}, \tag{2.5}$$

$$Q_м=Q_c=\sum_{i=1}^{n}K_{Bi}\cdot P_{нi}\cdot tg\varphi_i=\sum_{i=1}^{n}P_c\cdot tg_i; \tag{2.6}$$

де $K_М$ – коефіцієнт максимуму активної потужності;

n_e – ефективне число ЕП.

Середні навантаження за найбільш завантажену зміну [1]:

$$Q_c = \sum_{i=1}^{n} K_{Bi} \cdot P_{ni} \cdot tg\varphi_{Ci}, \qquad (2.7)$$

де $tg\varphi_{Ci}$ – усереднені значення $tg\varphi$ для даного типу ЕП.

K_{Bi} – індивідуальний коефіцієнт використання, характерний для даного ЕП;

n – число ЕП.

Значення K_M визначають за таблицями або графіками $K_M = f(n_e, K_B)$.

Груповий коефіцієнт використання

$$K_в = \frac{P_{см}}{P_н} = \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{вi} * P_{ni}}{\sum_{i=1}^{n} P_{ni}}, \qquad (2.8)$$

де $P_н$ – номінальна потужність всіх ЕП.

Розраховане значення n_e округляється до найближчого меншого цілого числа.

Отже, визначимо, наприклад, середню активну і реактивну потужність лінії 1 (ЕП 1): - для ЕП групи А [1]:

$$P_c = K_{Bi} \cdot P_{ni} = 0{,}6 \cdot 4 = 2{,}4 \text{кВт};$$

$$Q_ñ = \hat{E}_{\hat{A}^3} \cdot Ð_{ï^3} \cdot tg\varphi_з = 0{,}6 \cdot 4 \cdot 0{,}88 = 2{,}112 \text{ êâàð}.$$

Результати записуємо в графи 8 і 9.

Виконаємо розрахунок електричних навантажень маргарино – майонезного заводу.

Для групи А РП-1:

$$K_B = \frac{\sum nP_н к_B}{\sum nP_н} = \frac{0{,}946 \cdot 2 + 2{,}5 + 1{,}5 + 2{,}64 + 6}{2{,}2 \cdot 2 + 8 + 4{,}4 + 7{,}5} = 0{,}596;$$

$$n_e = \frac{\left(\sum nP_í\right)^2}{\sum nP_í^2} = \frac{(2{,}2 + 2{,}2 + 5 + 3 + 4{,}4 + 7{,}5)^2}{4{,}84 + 4{,}84 + 25 + 9 + 9{,}68 + 56{,}25} = 5{,}4. \qquad (2.9)$$

Визначаємо K_M = 1,08 і обчислюємо розрахункові потужності для електроприймачів групи А:

$$P_м = K_М \cdot K_{Bi} \cdot nP_{нi} = 1{,}08 \cdot 0{,}6 \cdot 24{,}3 = 15{,}746 кВт.$$

Визначимо розрахункову реактивну потужність [1]:

$$Q_м = 1{,}1 \cdot K_М \cdot K_{Bi} \cdot nP_{нi} \cdot tg\varphi_{Ci} = 1{,}1 \cdot 1{,}08 \cdot 0{,}6 \cdot 24{,}3 \cdot 0{,}88 = 15{,}24 квар.$$

Визначимо повну розрахункову потужність:

$$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2} = \sqrt{15{,}746^2 + 15{,}24^2} = 21{,}915 \text{ кВА}.$$

- для ЕП групи Б:

$$P_м = K_{Bi} \cdot nP_{нi} = 0{,}73 \cdot 27 = 19{,}7 кВт;$$

$$Q_м = K_{Bi} \cdot nP_{нi} \cdot tg\varphi_{Ci} = 0{,}72 \cdot 27 \cdot 0{,}75 = 14{,}5 квар.$$

Визначаємо $S_м$ електроприймачів групи Б:

$$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2} = \sqrt{19{,}7^2 + 14{,}5^2} = 24{,}46 \text{ кВА}.$$

Підсумовуємо розрахункові значення $P_м$, $Q_м$ ЕП групи А і Б і визначаємо $S_м$ в цілому для РП-1:

$$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2} = \sqrt{35{,}4^2 + 29{,}7^2} = 46{,}27 \text{ кВА};$$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} P_{нi}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} P_{нi}^2} = \frac{P_н^2}{\sum_{i=1}^{n} P_{нi}^2} = \frac{(2{,}2 + 2{,}2 + 5 + 3 + 2{,}2 + 7{,}6 + 30 + 4 + 7 + 5 + 30)^2}{2{,}2^2 \cdot 3 + 25 + 9 + 7{,}5^2 + 36 + 900 \cdot 2 + 16 + 49 + 25} = 6$$

Розрахункові навантаження цеху визначаються в такій послідовності [1]:

1) спочатку проводимо розрахунок для всіх споживачів групи А:

$$P_м = K_м \cdot K_{Bi} \cdot nP_{нi} = 0{,}92 \cdot 0{,}6 \cdot 106{,}3 = 58{,}678 кВт;$$

$$Q_м = K_м \cdot K_{Bi} \cdot nP_{нi} \cdot tg\varphi_{Ci} = 0{,}92 \cdot 0{,}6 \cdot 87 \cdot 0{,}89 = 52{,}223 квар.$$

Значення $K_м$ вибираємо з [1], табл.. 1.2.

$$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2} = \sqrt{58{,}678^2 + 52{,}223^2} = 78{,}55 \text{ кВА}.$$

2) для ЕП групи Б:

$$P_м = K_{Bi} \cdot nP_{нi} = 0{,}8 \cdot 87 = 67{,}3 кВт;$$

$$Q_м = K_{Bi} \cdot nP_{нi} \cdot tg\varphi_{Ci} = 0{,}75 \cdot 87 \cdot 0{,}77 = 50{,}5 квар;$$

$$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2} = \sqrt{67{,}3^2 + 50{,}5^2} = 84{,}14 \text{ кВА}.$$

Для розрахунку цехових навантажень підсумуємо отримані значення потужностей групи А і Б (без урахування освітлювального навантаження):

$$P_м = 58{,}678 + 67{,}3 = 125{,}978 \text{ кВт};$$

$$Q_м = 52{,}223 + 50{,}5 = 102{,}723 \text{ квар};$$

$$S_м = \sqrt{125{,}978^2 + 102{,}723^2} = 162{,}55 \text{ кВА}.$$

Решту розрахунків проводимо аналогічно. Результати записуємо в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Розрахунок електричних навантажень цеху

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2	Найменування ЕП	n,шт	Рн, кВт	nPн, кВ	Кв	tg φ	Рс,кВт	Qc, ква	nPн²	ne	Км	Рм, кВ	Qm,ква	S, кВА
3	***РП 1***													
4	*група А*													
5	Змішувач (3)	1	2,2	2,2	0,43	1,02	0,946	0,965	4,84					
6	Ванна змішування. Змішувач (	1	2,2	2,2	0,43	1,02	0,946	0,965	4,84					
8	Машина фасовки масла (4)	1	5	5	0,5	1,02	2,5	2,55	25					
9	Машина фасовки масла (брікет	1	3	3	0,5	1,5	1,5	2,25	9					
11	Змішувач №1, №2 (13, 14)	2	2,2	4,4	0,6	0,88	2,64	2,323	9,68					
13	Міксер-витримувач (6)	1	7,5	7,5	0,6	0,75	4,5	3,375	56,25					
14	**всього гр. А**	**7**		**24,3**	**0,6**		**14,53**	**13,55**	**109,61**	**5**	**1,08**	**15,75**	**15,24**	**21,92**
15	*група Б*													
16	Насос котла (10)	1	4	4	0,7	0,75	2,8	2,1	16					
17	Насос котла градирні (11)	1	3	3	0,7	0,75	2,1	1,575	9					
18	Насос №1 (15)	1	6	6	0,7	0,75	4,2	3,15	36					
19	Насос №2, (16)	1	7	7	0,7	0,75	4,9	3,675	49					
21	Насос маслооброблювальний (	1	8	8	0,75	0,75	6	4,5	64					
22	**всього гр. Б**	**5**		**27**	**0,72**		**20**	**15**	174			**20**	**15**	**25**
23	всього РП 1	12		51,3			34,53	28,55	283,61			**35,75**	30,24	**46,82**
24	***РП 2***													
25	*група А*													
26	Маслоутворювач (2)	1	6	6	0,4	1,17	2,4	2,808	36					
28	Водонагрівник продувочної во	1	30	30	0,56	0,62	16,8	10,42	900					
30	Котел водогрійний технічної в	1	4	4	0,6	0,88	2,4	2,112	16					
31	Котел водогрійний ванни зміш	1	**7**	**7**	0,6	0,88	4,2	3,696	49					
32	Котел електродний (12)	1	5	5	0,6	0,88	3	2,64	25					
33	Котел водогрійний ванни емул	1	30	30	0,6	0,88	18	15,84	900					
34	**всього гр. А**	**6**		**82**	**0,6**	**0,89**	**46,8**	**37,51**	**1926**	**4**	**1,12**	**55,1**	**53,95**	77,11
35	*група Б*													
36	Жиротопка №1, №2 (19,20)	2	30	60	0,8	0,75	48	36	1800					
37	**всього гр. Б**	**2**		**60**	**0,8**		**48**	**36**	**1800**			**48**	**36**	**60**
38	**Освітлення**											**5,68**	**1,86**	
39	всього РП 2	8		142			94,8	73,51				**108,8**	91,8	142,4
40	**ТП**													
41	**всього гр. А**	13		106,3	0,6		61,33	51,06	2035,6	6	0,92	58,68	52,22	78,55
42	**всього гр. Б**	7		87			68	51	1974			67,3	50,5	84,14
43	**Освітлення**											5,68	1,86	
44	**всього ТП**	20		193,3			129,33	102,1	4009,6			131,7	104,6	168,2

Таким чином, повне навантаження маргарино-майонезного цеху №2 з урахуванням освітлювального навантаження становить:

$$S_м = \sqrt{(P_р + P_{îñâ})^2 + (Q_р + Q_{îñâ})^2} = \sqrt{(125{,}978 + 5{,}68)^2 + (102{,}723 + 1{,}86)^2} = 168{,}19 \text{ кВА}.$$

2.2 Розрахунок електропостачання підприємства

2.2.1 Розрахунок навантажень підприємства

Розрахункові активна та реактивна потужності силового обладнання і розрахункова потужність освітлення всіх інших виробничих підрозділів підприємства визначаються за методом коефіцієнта попиту [1].

Для розрахунку вказані величини для оліє-очисного заводу № 1:

$$P_{mc} = P_n \cdot K_n = 134 \cdot 0{,}56 = 75{,}04\,кВт; \qquad (2.10)$$

$$Q_{мс} = P_{мс} \cdot tg\varphi = 75{,}04 \cdot 1{,}3 = 97{,}552\,квар;$$

$$P_{мо} = P_{пто} \cdot K_{по} \cdot K_{пра} \cdot F = 0{,}017 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}085 \cdot 800 = 13{,}872\,кВт; \qquad (2.11)$$

$$Q_{мо} = P_{пто} \cdot K_{по} \cdot K_{пра} \cdot F \cdot tg\varphi = 0{,}017 * 1{,}32 * 0{,}085 * 800 * 1{,}3 = 18\,квар,$$

де K_n – коефіцієнт попиту [2].

$K_{по}$, $K_{пра}$ – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження і коефіцієнт втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі відповідно [1].

Розрахункові потужності оліє-очисного заводу №1:

$$P_m = P_{mc} + P_{mo} = 75{,}04 + 13{,}872 = 88{,}912\,кВт;$$

$$Q_m = Q_{mc} + Q_{mo} = 97{,}552 + 18 = 115{,}6\,квар.$$

Всі розрахунки потужності навантаження цехів проводяться аналогічно. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		Таблиця 2.2 Розрахунок навантажень підприємства															
2		Силове навантаження				Освітлювальне навантаження								Всього			
3		Споживачі	Рн, кВт	Кп	cos φ	tg φ	Рмс, кВт	Qмс, квар	F, м²	Рпит.о	Кпра	Кпо	Рмо, кВт	Qмо, квар	Рм, кВт	Qм, квар	S, кВА
4	1	1.Оліє-очисний завод №1	134	0,56	0,6	1,3	75,04	97,552	800	0,02	1,2	0,9	13,872	18,0336	88,912	115,586	145,83
5	2	2.Оліє-очисний завод №2	130	0,56	0,6	1,3	72,8	94,64	950	0,02	1,2	0,9	14,535	18,8955	87,335	113,536	143,24
6	3	3.Маргарино-майонезний завод №1	302,3	0,46	0,75	0,88	139,06	122,371	1275	0,02	1,2	0,9	22,109	19,4555	161,17	141,827	214,68
7	4	4.Маргарино-майонезний завод №2	193,3				129,03	101,562					5,68	1,86	131,7	104,6	168,18
8	5	5.Завод безалкогольних напоїв	130	0,5	0,75	0,88	65	57,2	900	0,02	1,2	0,9	15,606	13,7333	80,606	70,9333	107,37
9	6	6.Завод полімерної упаковки	120	0,3	0,65	1,17	36	42,12	850	0,02	1,2	0,9	14,739	17,2446	50,739	59,3646	78,094
10	7	7.Холодильно-компресорна станція	60	0,4	0,8	0,75	24	18	100	0,02	1,2	0,9	1,53	1,1475	25,53	19,1475	31,913
11	8	8.Котельня	21	0,6	0,75	0,88	12,6	11,088	360	0,01	1,2	0,9	5,1408	4,5239	17,741	15,6119	23,632
12	9	9.Склад №1	95	0,5	0,75	0,88	47,5	41,8	900	0,01	1,1	0,6	7,128	6,27264	54,628	48,0726	72,768
13	10	10.Склад №2	90	0,4	0,75	0,88	36	31,68	600	0,01	1,1	0,6	4,752	4,18176	40,752	35,8618	54,284
14	11	11.Повітряно-компресорна станція	300	0,5	0,8	0,75	150	112,5	200	0,02	1,2	0,9	3,06	2,295	153,06	114,795	191,33
15	12	12.Механічна майстерня	316	0,4	0,75	0,88	126,4	111,232	600	0,02	1,2	0,9	10,404	9,15552	136,8	120,388	182,23
16	13	13.Гараж	50	0,3	0,65	1,17	15	17,55	525	0,02	1,2	0,9	8,568	10,0246	23,568	27,5746	36,274
17	14	14.Очисні споруди	70	0,9	0,8	0,75	63	47,25	700	0,01	1,2	0,9	9,996	7,497	72,996	54,747	91,245
18		Всього по підприємству	2012				991,43	906,545	8760				137,12	134,32	1125,5	1040,87	1533

Розрахункові максимальні середньозмінні навантаження підприємства визначаємо [1]:

- сумарне активне навантаження:

$$P_м = K_0(P_{мс} + P_{мо}) = 0,9(991,428 + 137,12) = 1012,9 \text{ кВт}; \quad (2.12)$$

- сумарне реактивне навантаження:

$$Q_м = Q_{мс} + Q_{мо} = 906,54 + 134,3 = 1040,8 \text{ квар},$$

де $K_о = 0,9$ – коефіцієнт одночасності максимумів навантаження для [1].

- сумарне повне навантаження підприємства:

$$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2} = \sqrt{1012,9^2 + 1040,8^2} = 1452,3 \text{ кВА}.$$

2.2.2 Вибір схеми електропостачання підприємства та картограма навантажень

Дане підприємство має відносно невелику потужність $P_м$=1069,3 кВт, що є значно менше 5 МВт, тому воно може отримувати електроенергію безпосередньо на напрузі 10 кВ [2]. Є можливість живлення підприємства від підстанції «Нова» напругою 10 кВ, яка розташована на відстані 4,2 км від підприємства. Оскільки напруга зовнішньої і внутрішньої заводських мереж однакова, то для приймання і розподілення електроенергії доцільним буде спорудження центральної розподільчої підстанції (ЦРП), від якої будуть живитись цехові ТП. ЦРП розміщують таким чином, щоб не було зворотних перетоків енергії.

Для вибору розміщення ЦРП побудуємо картограму і визначимо центр електричних навантажень підприємства [1,7,8]. Картограма навантажень підприємства являє собою розміщені на генеральному плані кола, причому, площі, обмежені цими колами, у вибраному масштабі дорівнюють розрахунковим навантаженням. Для кожного цеху наноситься своє коло, центр якого співпадає з центром навантажень цеху. Центр навантажень підприємства є символічним центром споживання електричної енергії. ЦРП необхідно

розташовувати якомога ближче до центру навантажень, тому що це дозволить наблизити високу напругу до центру споживання електроенергії і значно скоротити довжину мереж як високої напруги, так і цехових розподільчих мереж, зменшити витрати провідникових матеріалів та знизити втрати електричної енергії.

При графічній побудові центр круга суміщають з геометричним центром зображеного на генплані контуру цеха[1,8,9]. Масштаб вибираємо таким, щоб побудована картограма наглядно відображала співвідношення потужностей цехів.Крім того, картограма навантажень дозволить правильно розташувати цехові ТП, наблизивши їх до центру навантажень.

Радіуси кіл картограми електричних навантажень визначаються за формулою:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi m}}, \qquad (2.13)$$

де- m- масштаб картограми навантажень; $\frac{кВт}{мм^2}$

Приймемо радіус круга навантаження маргарино-майонезного заводу №2 r_e=50мм, тоді масштаб побудови:

$$m_p = \frac{P_{мз}}{\pi \cdot r_e^2} = \frac{131{,}7}{3{,}14 \cdot 50^2} = 0{,}017 \text{ кВт/мм}^2.$$

Вибираємо m_p=0,02 кВт/мм^2.

Визначимо радіуси кутів при даному масштабі:

$$r_e = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi m}} = \sqrt{\frac{131{,}7}{3{,}14 \cdot 0{,}02}} = 45{,}8 \text{ мм};$$

Сектор кола картограми, що відповідає освітлювальному навантаженню, визначається:

$$\alpha_{осв\,i} = \frac{P_{po} * 360}{P_{po} + P_{pi}} = \frac{360 \cdot 5{,}68}{131{,}7} = 15{,}5^o; \qquad (2.14)$$

Розрахунки по іншим цехам зводимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Розрахунки для побудови картограми навантажень.

Цех	Координати цехів		P_M, кВт	$P_{M.0.}$, кВт	r_k, мм	α град
	x_i, мм	y_i, мм				
1.Оліє-очисний завод №1	90	67	88,9	13,9	37,6	56,3
2.Оліє-очисний завод №2	92	48	87,3	14,5	37,3	59,8
3. Маргарино-майонезний завод №1	25	56	161,2	22,1	50,7	49,4
4. Маргарино-майонезний завод №2	25	31	131,7	5,68	45,8	15,5
5. Завод безалкогольних напоїв	71	39	80,6	15,6	35,8	69,7
6. Завод полімерної упаковки	52	42	50,7	14,7	28,4	104,4
7. Холодильно-компресорна станція	4	30	25,5	1,53	20,2	35,7
8. Котельня	17	18	17,7	5,2	16,8	105,8
9. Склад №1	109	11	54,6	7,1	29,5	46,8
10. Склад №2	113	11	40,8	4,7	25,5	41,5
11. Повітряно-компресорна станція	54	28	153,0	3,06	49,4	7,2
12. Мех. майстерня	85	10	136,8	10,4	46,7	27,4
13. Гараж	130	10	23,6	8,6	19,4	131,2
14. Очисні споруди	103	78	73	10,0	34,0	49,3
Разом			1069,3	137,12		

Примітка: координати цехів в табл. 2.3 наведені в масштабі рисунку 2.2 за умови, що початок кординатної площини знаходиться в нижньому правому кутку території підприємства.

Центр електричних навантажень аналітично визначається за формулами [9]:

$$X = \frac{\sum_{1}^{n} P_{pi} * X_i}{\sum_{1}^{n} P_{pi}}; \qquad У = \frac{\sum_{1}^{n} P_{pi} * Y_i}{\sum_{1}^{n} P_{pi}}, \qquad (2.15)$$

де- Xi; Yi- координати центру навантажень і-го виробничого підрозділу.

Визначимо координати центру навантажень.

$$X_o=68,4 \text{ мм}; \quad У_o=39,5 \text{мм}.$$

Картограма навантажень підприємства зображена на рисунку 2.2.

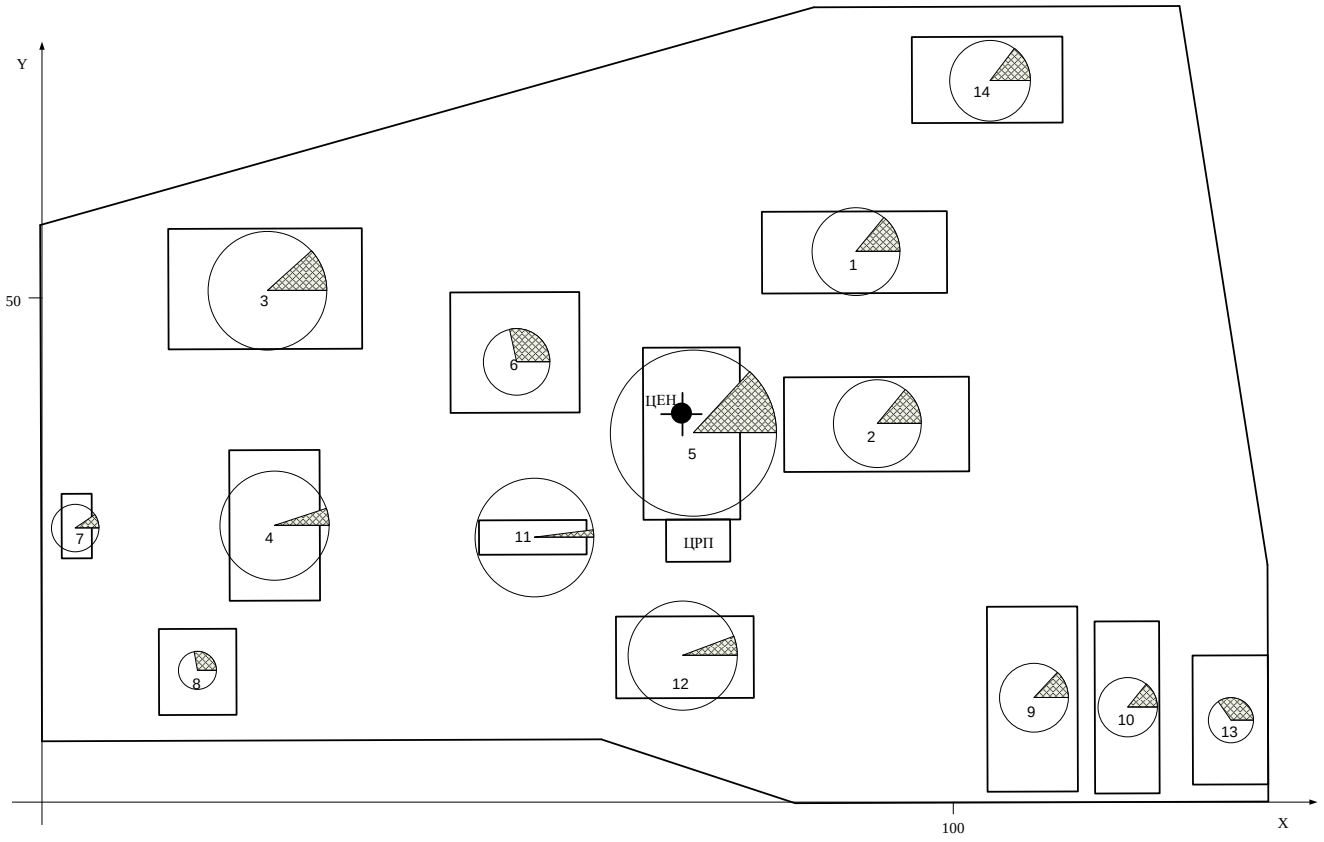


Рисунок 2.2 – Картограма електричних навантажень та ЦЕН підприємства

Зважаючи на те, що ЦЕН припадає на гранувальний цех, і відповідно неможливість розміщення в даному місці ЦРП, зміщуємо координати ЦРП в сторону підведення живлення підприємства.

2.2.3 Вибір потужності трансформаторів цехових ТП

Сумарна повна розрахункова потужність всіх цехів, електричне обладнання яких живиться на напрузі 0,4 кВ, $S_м$=1452,3 кВА.

Для обгрунтування доцільної потужності трансформаторних підстанцій розрахуємо економічний ступінь потужності трансформаторів [1,7]. Для цього визначимо загальну площу всіх цехів:

$$F_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} F_i = 800 + 950 + 1275 + 648 + 900 + 850 + 100 + 360 + 900 + 600 + 200 + 600 +$$

$$+ 525 + 700 = 9408 м^2$$

Визначимо економічний ступінь потужності трансформаторів в залежності від густини навантаження:

$$S_{пит} = \frac{S_\Sigma}{F_\Sigma} = \frac{1452,3}{9408} = 0,15 \frac{кВА}{м^2} \ . \quad (2.16)$$

При такій питомій потужності згідно рекомендацій [8] доцільно використовувати трансформатори потужністю 630 або 1000 кВА [3].

Прагнучи до однотипності встановлюваного обладнання, плануємо використовувати трансформатори потужністю 630 кВА [3]. Їх загальну кількість можна розрахувати:

$$S_{ек}=S_{ном\ тр}=630 \text{ кВА}; \quad N_{ek} = \frac{S_\Sigma}{S_{ek} \cdot k_з} = \frac{1452,3}{630 \cdot (0,9 \div 0,95)} = 2,56 \div 2,42 \text{ шт}, \quad (2.17)$$

де $К_з=0,9 \div 0,95$ – коефіцієнт завантаження трансформаторів однотрансформаторної підстанції.

Отже необхідно встановити 3 трансформатори.

З огляду на картограму активних електричних навантажень згрупуємо потужності цехів по підстанціям:

1. Цехи 3,4,5,6,7,8,11 живляться від двотрансформаторної підстанції 2×630 кВА (далі ТП 1).

2. Цехи 1,2,9,10,12,13,14 живляться від однотрансформаторної підстанції 1×630 кВА (далі ТП 2).

Результати розрахунку приведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Розподіл трансформаторних підстанцій між цехами

ТП 1						ТП 2					
Цехи	$Р_{мах}$, кВт	$Q_{мах}$, квар	$S_м$, кВА	$S_{ном\,ТР}=630\,кВА$		Цех	$Р_{мах}$, кВт	$Q_{мах}$, квар	$S_м$, кВА	$S_{ном\,ТР}=630\,кВА$	
				N, шт	$k_з$					N, шт	$k_з$
3, 4, 5,6,7, 8,11, 12	757,2	646,6	995,7	2	0,79	1,2,9, 10,13, 14	368,1	395,3	540,2	1	0,86

2.2.4 Компенсація реактивних навантажень ТП

Відповідно до вихідних умов енергосистемою для підприємства задано значення вхідної реактивної потужності в години максимальних навантажень, яке становить 150 квар. Якщо вважати, що максимуми навантажень енергосистеми та підприємства співпадають в часі, то реактивна потужність, яку треба компенсувати (потужність компенсуючих пристроїв), становить [8]:

для ТП1, на якій встановлено два трансформатора ТМ 630 кВА

$$Q^{БК} = Q_{мах} – Q_{ВХ} = 646,6 – 100 = 546,6 \text{ квар;} \quad (2.18)$$

для ТП2, на якій встановлено один трансформатор ТМ 630 кВА

$$Q^{БК} = Q_{мах} – Q_{ВХ} = 395,3 – 50 = 345,3 \text{ квар.}$$

Оскільки інших можливостей для установки компенсуючих пристроїв крім їх установки на трансформаторних підстанціях [3] немає, то приймемо рішення встановити компенсуючі пристрої в РУ 0,4 кВ трансформаторної підстанції, розподіливши їх потужність порівну між секціями збірних шин ТП.

За каталогами підприємств виробників виберемо:

– для ТП1 дві комплектні конденсаторні установки номінальною напругою 400 В вітчизняного виробництва (ЗАТ «СІЛІКОН-КВАР», м. Київ) потужністю 225 квар із ступенями керування 25 квар – УКРП-0,4-225-25УЗ та 2 потужністю по 45 квар УКРП-0,4-45-5УЗ із ступенями керування по 5 квар [5];

– для ТП2 комплектні конденсаторні установки УКРП-0,4-200-20УЗ та УКРП-0,4-140-20УЗ того ж виробника загальною потужністю 340 квар, які мають ступені керування 20 квар [5].

Зробимо уточнення розрахункової реактивної потужності трансформаторних підстанцій та об’єкту проектування в цілому, яке необхідне для подальших розрахунків:

для ТП1

$$Q_{мах} – Q^{БК} = 646,6 – 540 = 106,6 \text{ квар;}$$

для ТП2

$$Q_{мах} – Q^{БК} = 395,3 – 340 = 55,3 \text{ квар.}$$

Уточнена потужність по ТП1

$$S_{p\Sigma}=\sqrt{(P_{max})^2-\left(Q_{max}-Q^{БК}\right)^2}=\sqrt{757{,}2^2+106{,}6^2}=764{,}4\ \text{кВА}. \qquad (2.19)$$

Подальші результати розрахунків по вибору компенсуючих пристроїв зведені до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибір компенсувальних пристроїв

№ ТП	$Q'_{РΣ}$, квар	Тип і потужність КУ	Кількість	Уточнена потужність, кВА	$К_з$
1	540	УКРП-0,4-225-25УЗ УКРП-0,4-45-5УЗ	2 шт 2 шт	764,4	0,6
2	340	УКРП-0,4-200-20УЗ УКРП-0,4-140-20УЗ	1 шт 1 шт	372,1	0,59

Наведені розрахунки показали, що коефіцієнти завантаження трансформаторів наближені до оптимального їх значення.

2.2.5 Вибір кабельних ліній 10 кВ

Трансформаторні підстанції і ЦРП живляться кабельними лініями 10 кВ. Переріз високовольтних ліній вибирається за [6]:

- напругою установки; $U_{уст} \le U_{ном}$;
- маркою кабелю;
- економічною густиною струму:

$$S_{ек}=\frac{I_p}{j_{ек}},\ \text{мм}^2, \qquad (2.20)$$

де $j_{ек}$ – економічна густина струму; при кількості годин максимального навантаження в рік від 3000 до 5000 годин для кабелів з алюмінієвими жилами $j_{ек}$=1,4 А/мм^2.

- допустимим струмом :

$$I_{max} \le I_{доп},$$

де $I_{доп}$ - тривалодопустимий струм, А.

Вибираємо кабель з ізоляцією зі зшитого поліетілену [5] для живлення ЦРП

$$S_р = \sqrt{(P_{ТП1} + P_{ТП2})^2 + (Q_{ТП1} + Q_{ТП2})^2} =$$

$$= \sqrt{(757,2 + 368,1)^2 + (106,6 + 55,3)^2} = 1136,9 \text{ кВА};$$

$$I_р = \frac{S_р}{\sqrt{3} * U_н} = \frac{1136,9}{\sqrt{3} * 10} = 65,7 \text{ А}.$$

Економічний переріз $S_{ек} = \frac{65,7}{1,4} = 46,9$ мм^2.

Приймаємо до встановлення кабель марки АПвЭБП – з ізоляцією зі зшитого поліетілену екранованого з бронею зі сталевих стрічок із зовнішньою оболонкою з поліетилену, призначений для прокладання у траншеях з високою корозійною активністю, у місцях, де можливі механічні дії на кабель[5].

Приймаємо кабель АПвЭБП(3*35), $I_{доп\ н}$=140 А; 140 А > 65,7А, значить кабель вибрано правильно.

Аналогічно вибираються кабелі для ТП1 та ТП2. Резутати вибору подані в табличній формі, таблиця 2.6.

Таблиця 2.6 – Вибір кабелів 10 кВ

№ТП	$S_{р,кВА}$	$I_р$,А	$S_{ек}$,мм^2	Марка і переріз кабелю	$I_{доп,А}$
РТП-ЦРП	1136,9	65,7	46,9	АПвЭБП(3*35)	140
ЦРП-ТП1	764,7	44,2	31,6	АПвЭБП(3*25)	118
ЦРП-ТП2	372,2	21,5	15,4	АПвЭБП(3*16)	75

Перевіримо вибраний кабель, що живить ЦРП, для післяаварійного режиму

$$I_{р\ мах} = \frac{1,4 * S_{нтр}}{\sqrt{3} * 10} = \frac{1,4 * 630}{\sqrt{3} * 10} = 50,98 \text{ А} < 140 \text{А}.$$

Перевірка вибраного перерізу кабеля на термічну стійкість до струму короткого замикання, як того вимагає ПУЕ [6], виконана після розрахунку аварійних режимів.

2.5.6 Вибір електрообладнання ЦРП

2.5.6.1 Розрахунок струмів КЗ на стороні 10 кВ

В електричних установках можуть виникати різноманітні види коротких замикань, що супроводжуються різким підвищенням струму. Тому електроустаткування, що встановлюється в системах електропостачання, повинно бути стійким до струмів короткого замикання і вибиратись з урахуванням величин цих струмів [8,9].

На рис. 2.3 зображені спрощена однолінійна схема електропостачання та схема заміщення для розрахунку струмів КЗ на напрузі 10 кВ.

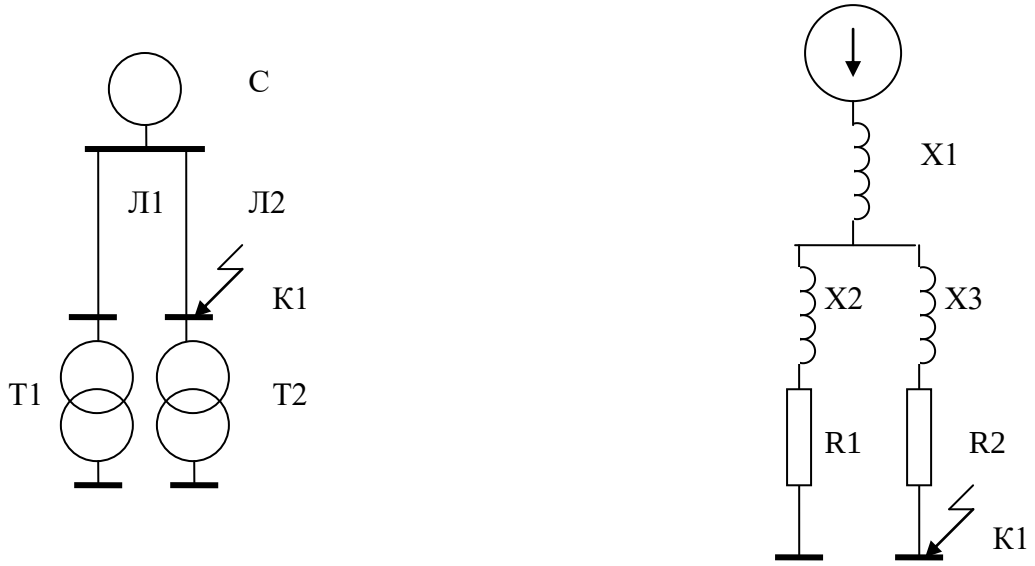


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема і схема заміщення для точки К-1

Потужність короткого замикання на шинах 10 кВ системної підстанції складає S''=100 МВА. ЦРП підприємства живиться двома кабельними лініями АПвЭБП (3*35) довжиною 4,2 км.

Розрахунок параметрів опорів схеми заміщення виконаємо при базисних умовах: $U_б$=10,5 кВ: $S_б$=100 МВА.

Обчислення параметрів виконаємо у відносних базисних одиницях за формулами точного приведення [9].

$$X_1=\frac{Sб}{S''}=\frac{100}{100}=1; \quad (2.21)$$

$$X_2=X_3=X_0\cdot L\cdot\frac{Sб}{Uб^2}, \quad (2.22)$$

де X_0-питомий реактивний опір кабельної, Ом/км;

L-довжина лінії;

$$X_2=X_3=0,075\cdot 4,2\cdot\frac{100}{10,5^2}=0,29;$$

$$R_1=R_2=R_0\cdot L\cdot\frac{Sб}{Uн^2}, \quad (2.23)$$

де R_0- питомий активний опір кабельної лінії, Ом/км;

$$R_1=R_2=0,95*4,2*\frac{100}{10,5^2}=3,6.$$

Сумарний опір, яким обмежується струм короткого замикання в точці $К_1$:

$$Z_\Sigma=\sqrt{R_1^2+(X_1+X_2)^2}=\sqrt{3,6^2+(1+0,29)^2}=3,8.$$

Струм короткого замикання в даному випадку не змінюється в часі. Тому діюче значення струму КЗ визначиться таким чином [9]:

$$I_*''=\frac{1}{Z_\Sigma}=\frac{1}{3,8}=0,26. \quad (2.24)$$

Те ж в іменованих одиницях, приведених до напруги 10 кВ:

$$I''=I_*''\cdot I_б=0,26\frac{100}{\sqrt{3}*10}=1,5 \text{ кА}. \quad (2.25)$$

Миттєве значення ударного струму [9]:

$$i_y=K_y\cdot\sqrt{2}\cdot I'', \quad (2.26)$$

де $К_у$-ударний коефіцієнт; при $\frac{X_\Sigma}{R_\Sigma}=\frac{1,29}{3,6}=0,36$ $К_у$=1,0,

$$i_y = 1{,}0 \cdot \sqrt{2} \cdot 1{,}5 = 2{,}12 \text{ кА}.$$

Потужність короткого замикання [9]:

$$S_k = \sqrt{3}\, U_{сн} \cdot I'' = \sqrt{3} \cdot 10{,}5 \cdot 1{,}5 = 27{,}25 \text{ МВА}.$$

Визначаємо тепловий імпульс [9]:

$$B_к = I_{пос}^2 (t_{відкл} + T_{a\,c}) = 1{,}5^2 (0{,}62 + 0{,}03) = 1{,}5 \text{ кА}^2\text{с}, \quad (2.27)$$

де – $t_{відкл} = t_{рз} + t_{пв} = 0{,}12 + 0{,}5 = 0{,}62$с - час відключення КЗ.

2.2.6.2 Вибір вимикачів 10 кВ

Вимикачі вибираються за номінальною напругою і розрахунковим струмом з врахуванням післяаварійних режимів.

$$\begin{gathered} U_{ном.в} \geq U_{ном.мережі}, \\ I_{ном.в} \geq I_{max}. \end{gathered} \quad (2.28)$$

Приймемо до установки високовольтні вимикачі вітчизняного виробництва ВВ/TEL [7].

Таблиця 2.7 – Комутаційні апарати 10 кВ

Лінія	$I_р$, А	I_{max}, А	Вимикач	$I_{ном.в}$, А
РТП-ЦТП	46,9	51	ВВ/TEL-10-20/630У3	630
ЦРП-ТП1	31,6	36,4	ВВ/TEL-10-20/630У3	630
ЦРП -ТП2	15,4	36,4	ВВ/TEL-10-20/630У3	630

Перевіримо вимикач ВВ/TEL-10, що вибираний для встановлення на ТП в камері КРУ, на комутаційну здатність і стійкість до дії струмів КЗ [7]. Перевірку комутаційної здатності здійснюємо за умовами:

$$\begin{cases} I_{н.відкл} \geq I_{п\tau}, \\ \sqrt{2} I_{н.відкл} \geq \sqrt{2} I_{п\tau} + i_{a\tau}, \end{cases} \quad (2.29)$$

$$\left\{\begin{array}{l} I_{н\geq відкл} = 12{,}5кА \geq I_{пос} = 1{,}5кА \\ \sqrt{2} * I_{відкл} = \sqrt{2} * 12{,}5 \geq \sqrt{2} * I_{пос} = \sqrt{2} * 1{,}5 \end{array}\right\}$$

Умови перевірки обраного вимикача на комутаційну здатність виконуються.

Перевірку вимикача на динамічну стійкість до дії струмів КЗ здійснюємо за умовами [7]:

$$\begin{cases} i_{дин} \geq i_{уд}, \\ I_{дин} \geq I_{по}, \end{cases} \tag{2.30}$$

$$\begin{cases} i_{дин} = 32кА \geq i_{уд} = 2{,}12кА \\ I_{дин} = 12{,}5кА \geq I_{по} = 1{,}5кА \end{cases}.$$

Умови перевірки обраного вимикача на динамічну стійкість до дії струмів КЗ те ж виконуються.

Перевірку вимикачів на термічну стійкість до дії струмів КЗ здійснюємо за умовою [7]:

$$I_T^2 t_T \geq B_K, \tag{2.31}$$

$$I_T{}^2 t_T = 12{,}5^2 * 3 = 468{,}75\ кА^2 с \geq B_к = 1{,}5кА^2 с.$$

Умови перевірки обраного вимикача на термічну стійкість до дії струмів КЗ виконуються також. Отже, даний тип вимикачів може бути використаний для встановлення на ТП.

Перевіримо вибрані кабельні лінії, що підходять до ЦРП на термічну стійкість до дії струмів КЗ за умовою [6]:

$$S_л = 35\ мм^2 \geq S_{min} = \frac{\sqrt{B_к}}{C_T} = \frac{\sqrt{1{,}5} * 10^3}{92} = 13{,}3мм^2,$$

де C_T - термічний коефіцієнт.

Умова перевірки кабельної лінії від РТП до ЦРП на термічну стійкість до дії струмів КЗ виконується.

Крім того, термічно стійкими до дії струмів КЗ є і кабелі, що живлять цехові ТП, оскільки їх переріз є більшим за мінімально стійкий.

Остаточний вибір вакуумних вимикачів виконаємо у табличній формі, таблиця 2.8.

Таблиця 2.8 – Вибір вакуумних вимикачів серії BB/TEL

№	Умови вибору	Довідникові дані	Розрахункові дані
1	$U_{н.дов} \geq U_{н.розр}$ (кВ)	10	10
2	$I_{н.дов} \geq I_{р.мах2}$ (А)	630	51
3	$i_{пр.св.} \geq i_{уд.}$ (кА)	32	2,12
4	$I^2_{t2} \cdot t_{t2} \geq I^2_{\infty} \cdot t_{пр2}$ (кА^2 ·с)	$12,5^2 \cdot 3 = 468,8$	1,5
5	$I_{откл.} \geq I''_2$ (кА)	32	1,5

2.2.7 Вибір електроустаткування 0,4 кВ трансформаторних підстанцій

2.2.7.1 Розрахунок струмів КЗ на стороні 0,4 кВ

Розрахунок струмів КЗ виконується з метою перевірки вибраних захисних апаратів за умовою комутаційної здатності. Розрахунок струмів КЗ в мережі напругою до 1000 В ведеться в системі іменованих одиниць.

Складемо розрахункову схему і схему заміщення для точки К2.

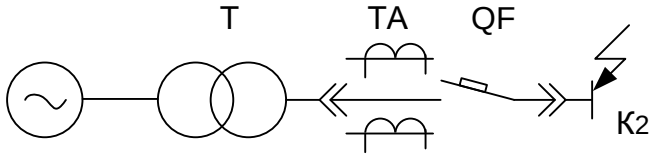


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема для точки К2

По розрахунковій схемі будуємо схему заміщення (рисунок 2.5) [7].

Задаємось базисною напругою: $U_б$ = 400 В та обчислюємо опір системи за формулою :

$$X_{с\,1} = \frac{Uб^2}{S_{.откл} \cdot \cdot 10^3}, \text{мОм}; \qquad (2.32)$$

$$X_{с\,1} = \frac{400^2}{200 \cdot 10^3} = 0,8 \text{ мОм}.$$

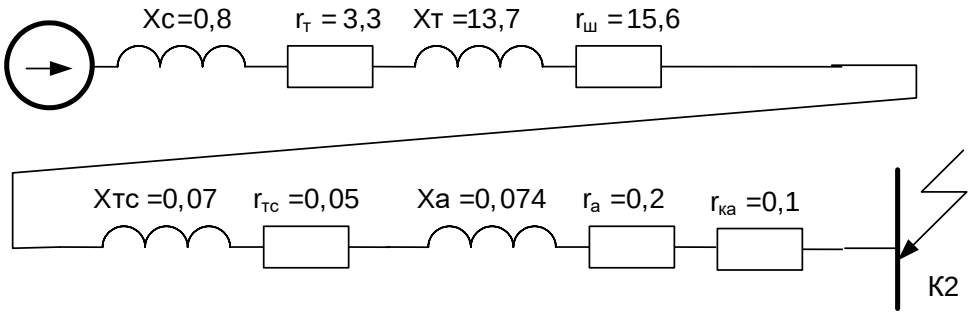


Рисунок 2.5 – Схема заміщення для точки К2

Вибираємо шини РП - 0,4 кВ підстанції, яка проектується, для цього розраховуємо максимальний струм навантаження .

$$I_{р.max2} = \frac{S_{ном.тр} * K_{н.ав.}}{\sqrt{3} \cdot U_{.ном}}, \text{ А;} \qquad (2.33)$$

$$I_{р.max2} = \frac{630 \cdot 1{,}4}{1{,}73 \cdot 0{,}4} = 1274{,}6 \text{ А.}$$

Вибираємо однополосні алюмінієві шини перерізом (80×6)мм^2. $I_{ном.доп.}$ = 1480 А > $I_{р.max2}$ = 1274,6 А [2].

З довідника [2] вибираємо опори шин:

$$r_{0\,ш} = 0{,}078 \text{ Ом /км;} \qquad x_{0\,ш} = 0;$$

$$r_{ш} = 0{,}078 * 0{,}002 = 1{,}56 * 10^{-3} = 15{,}6 \text{ мОм;}$$

Визначаємо опори трансформатора за формулами:

$$r_{* тр} = \frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{.ном.тр.}}; \qquad r_{* тр} = \frac{7{,}6}{630} = 0{,}012; \qquad (2.34)$$

$$X_{*тр} = \sqrt{\left(\frac{U_{.к.з.}\%}{100}\right)^2 - r_{*тр}.^2}; \qquad X_{*тр} = \sqrt{\left(\frac{5{,}5}{100}\right)^2 - 0{,}012^2} = 0{,}054; \qquad (2.35)$$

$$r_{тр} = r_{* тр} \cdot \frac{U_б^{\,2}}{S_{.ном.тр.}}, \text{ мОм;} \quad r_{тр} = 0{,}013 \cdot \frac{400^2}{630} = 3{,}3 \text{ мОм;} \qquad (2.36)$$

$$X_{тр} = X_{*тр} \cdot \frac{Uб^2}{S.ном.тр.}, \text{ мОм;} \quad X_{тр} = 0{,}054 * \frac{400^2}{630} = 13{,}7 \text{ мОм.} \qquad (2.37)$$

Розраховуємо номінальний струм трансформатора з боку 0,4 кВ:

$$I_{ном2\ (max)} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} * U_н},\ А\ ;\quad I_{ном2\ (max)} = \frac{630}{1{,}73 \cdot 0{,}4} = 910{,}4\ А\ . \qquad (2.38)$$

З довідникових даних [2] визначаємо опір трансформаторів струму: $r_{тс} = 0{,}05$ мОм ; $X_{тс} = 0{,}07$мОм .

Вибираємо з довідника [2] опори контактів автоматичного вимикача:

$$x_а = 0{,}074\ мОм;\ r_а = 0{,}2\ мОм;\ r_{ка} = 0{,}1\ мОм.$$

Знаходимо еквівалентні опори схеми за формулою:

$$X_{екв.} = X_с + X_{тр} + X_{тс} + x_а = 0{,}8 + 13{,}7 + 0{,}07 + 0{,}074 = 14{,}6 мОм;$$

$$r_{екв.} = r_т + r_ш + r_{ка} + r_{тс} = 3{,}3 + 0{,}05 + 0{,}2 + 0{,}1 = 3{,}7\ мОм.$$

Знаходимо повний еквівалентний опір схеми за формулою :

$$Z_{екв} = \sqrt{r_{екв.}^2 + X_{екв.}^2}\ ,\ мОм;$$

$$Z_{екв} = \sqrt{14{,}6^2 + 3{,}7^2} = 15{,}07\ мОм.$$

Знаходимо струми К.З. в точці К2.

Надперехідний струм :

$$I''_2 = I\infty = \frac{U_{б.}}{\sqrt{3} \cdot Z_{екв.}},\ кА; \qquad (2.39)$$

$$I''_2 = I\infty = \frac{400}{1{,}73 * 15{,}07} = 15{,}3 кА.$$

Ударний струм:

$$i_{уд.} = \sqrt{2} \cdot К_{уд.} \cdot I'',\ кА;$$

$$i_{уд.} = \sqrt{2} \cdot 1{,}0 \cdot 15{,}3 = 21{,}6\ кА,$$

$$де\ К_{уд} = f\left(\frac{X_{екв}}{r_{екв}}\right) = f\left(\frac{3{,}7}{14{,}6}\right) = f(0{,}25) = 1{,}0\ .$$

2.2.7.2 Вибір шин

В трансформаторних підстанціях з трансформаторами 630 кВА встановлені алюмінієві шини прямокутного перерізу 80*6 мм^2 з однією полосою на фазу [2].

Перевіримо шини на динамічну стійкість дії струму КЗ.

Зусилля на середню фазу:

$$F=1,76*i_y^2*\frac{l}{a}*10^{-2}, \quad (2.40)$$

де l-довжина прольоту; l=100 см;

а-відстань між шинами; а=24 см [2],

$$F=1,76*21,6^2*\frac{100}{24}*10^{-2}=34,2 \text{ кгс}.$$

Момент, що вигибає шину [2]:

$$M=\frac{F*l}{8}=\frac{34,2*100}{8}=427,5 \text{ кгс*см}. \quad (2.41)$$

Момент опору шини [2]:

$$W=\frac{bh^2}{6}=\frac{0,6*8^2}{6}=6,4 \text{ см}^3. \quad (2.42)$$

Напруга в матеріалі шин [2]:

$$\sigma_{расч}=\frac{M}{W}=\frac{427,5}{6,4}=66,8 \text{кгс/см}^2=6,7 \text{ МПа}. \quad (2.43)$$

$\sigma_{доп}$= 70 МПа, що більше розрахованого, значить шини вибрані правильно.

Визначимо мінімальний переріз шин за умовою термічної стійкості [2]:

$$S_{min}=I_\infty \cdot \alpha * \sqrt{tn}=15,3*15,62*\sqrt{1,5}=292,7 \text{мм}^2, \quad (2.44)$$

що менше фактичного 80·6=480 мм$^{2.}$ Вибрані шини термічно стійкі до дії струму КЗ.

2.2.7.3 Вибір автоматичного вимикача

Виконаємо вибір автоматичного вимикача серії АВМ, який встановлюється в РП 0,4 кВ комплектних трансформаторних підстанцій [1]. Цей вимикач встановлюється як ввідний в комірках 0,4 кВ.

Складемо порівняльну таблицю для вибору автоматичного вимикача АВМ-10Н.

Таблиця 2.9 – Вибір автоматичного вимикача 0,4 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані автоматичного вимикача АВМ10Н
U=0,4 кВ	Uн=0,4 кВ
$I_{р\ мах}=\frac{1,4*630}{\sqrt{3}*0,4}=1274,6А$	$I_н$=1500А
$i_{уд}$=21,6 кА	$I_{отк}$=42 кА

2.5 Вибір комутаційно-захисної апаратури та провідників цехової мережі

Найбільш досконалими комутаційно-захисними апаратами є автоматичні вимикачі [1]. Крім того, за вимогами технологічного процесу і необхідністю його контролю рекомендовано вибір саме цих комутаційних апаратів. Вибір автоматичних вимикачів зводиться до забезпечення умов [1]:

$$I_{н.розч} \geq \kappa_{відс} \cdot I_М, \quad (2.45)$$

$$I_{н.відк} \geq I^{(3)}_{к.max}, \quad (2.46)$$

де $I_{н.розч}$ – номінальний струм розчеплювача.

Струмова відсічка автоматичного вимикача повинна бути відстроєна від пікового (пускового) струму:

$$I_{с.в} \geq \kappa_н \cdot I_п, \quad (2.47)$$

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

$\kappa_н$ – коефіцієнт надійності відбудови струмової відсічки.

Наприклад, для лінії ТП-РП1

$$I_м = \frac{S_м}{\sqrt{3} \cdot U_н} = \frac{46.272}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 70.3А;$$

$$I_п = I_м - \frac{K_В \cdot P_н}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi} + 5\frac{P_н}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \cos\varphi}; \quad (2.48)$$

$$I_{П} = 70.3 - \frac{0,66 \cdot 8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} + 5\frac{8}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 136.18\,А.$$

Номінальний струм розчеплювача і струм спрацювання відсічки автоматичного вимикача вибираємо з умови

$$I_{ном.р} \geq \kappa_{відс} \cdot I_{М} = 1.1 \cdot 70.3 = 77.33\,А; \quad (2.49)$$

$$I_{с.в} \geq \kappa_{Н} \cdot I_{П} = 1,5 \cdot 136.18 = 204.27А. \quad (2.50)$$

За розрахованими значеннями струмів вибираємо селективний автоматичний вимикач ВА 51-35 [1] з номінальним струмом вимикача 160 А, номінальним струмом розчеплювача 100,8 А (кратність струму 0,63) та струмом спрацювання відсічки 302,4 (кратність струму 3).

Аналогічно проводимо розрахунки для лінії ТП-РП–2 і вибираємо селективний автоматичний вимикач серії ВА 55-39 з номінальним струмом вимикача 630 А, номінальним струмом розчеплювача 396,9 А (кратність струму 0,63) та струмом спрацювання відсічки 1190,7 (кратність струму 3).

На лініях, що підходять безпосередньо до електроприймачів вибираємо автоматичні вимикачі серії ВА 51 [1] з тепловим і електромагнітними розчеплювачами. Підберемо автоматичний вимикач для лінії РП – ЕП 3.

Лінія РП1-ЕП3

$$I_{М} = \frac{P_{Н}}{\sqrt{3} \cdot U_{Н} \cdot \cos\varphi_{Н}\eta_{Н}} = \frac{2,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75 \cdot 0,72} = 6,2 \;\; А;$$

$$I_{п} = 7 \cdot I_{м} = 7 \cdot 6,2 = 43,4\,А.$$

Вибираємо ВА51-25 з тепловим і електромагнітним розчеплювачами, номінальним струмом $I_{ном} = 25\,А$.

Номінальний струм розчеплювача і струм спрацювання відсічки автоматичного вимикача вибираємо з умови:

$$I_{ном.р} \geq \kappa_{відс} \cdot I_{М} = 1 * 6,2 = 6,2\,А;$$

$$I_{с.в} \geq \kappa_{н} \cdot I_{п} = 1,5 * 43,4 = 65,1А.$$

Отже, необхідно вибрати $I_{ном.р} = 8\,А$ 8А>6.2 А;

$$I_{с.в} = 7 * I_{ном.р} = 7 \cdot 10 = 70\,А.\ \ 70А>65,1\ А.$$

Для інших ліній, що безпосередньо підходять до ЕП підбір автоматичних вимикачів проводимо аналогічно. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.11.

Таблиця 2.11 – Вибір автоматичних вимикачів цехової мережі

№ споживача на плані	$P_н$, кВт	$I_н$, А	$I_{пуск}$, А	Тип АВ	$I_н$, А	$I_{н\,т\,р}$, А	$I_{ем\,р}$, А
РП-1							
3.Змішувач	2,2	6,2	43,4	ВА51-25	25	8	70
9.Ванна змішув.	2,2	6,2	43,4	ВА51-25	25	8	70
4.Машина фасовки	5	10,85	54,3	ВА51-25	25	12,5	175
5.Машина брикетн фасовки	5	8,29	41,4	ВА51-25	25	10	175
13,14.Змішувач №1,2	2,2	6,2	43,4	ВА51-25	25	8	70
6.Міксер	7,5	14,24	71,2	ВА51-25	25	16	175
10.Насос котла	4	8,6	55,9	ВА51-25	25	10	175
11.Насос градирні	3	5,7	28,5	ВА51-25	25	6,3	175
15.Насос №1	6	11,4	57	ВА51-25	25	12,5	175
16. Насос №2	7	13,8	69	ВА51-25	25	16	175
7.Насос маслообр.	8	15,2	76	ВА51-25	25	16	175
РП-2							
2.Маслоутворювач	6	14,03	70,1	ВА51-25	25	16	175
17.Водонагрівник	30	53,62	268	ВА51-31	100	63	300
1. Котел	4	8,1	40,5	ВА51-25	25	10	175
8.Котел ванни	7	14,2	70,9	ВА51-25	25	16	175
12.Котел електрод.	5	8,9	44,7	ВА51-25	25	10	175
18. Котел водогр.	30	60,8	303,9	ВА51-31	100	63	700
19,20. Жиротопка	30	56,98	284,9	ВА51-31	100	63	300
ЩО	5,68	9,09	-	ВА51-25	25	10	175

Вибираємо силові розподільчі пристрої для живлення споживачів цеху [7]. Для РП-1- розподільний пункт підвісного виконання типу ПР11-3086А-21УЗ номер схеми 086А з автоматичним вимикачем ВА5135 та рубильником ВР3235 на вводі та 12 автоматичними вимикачами типу ВА51-25 на відгалуженнях.

Для РП-2 приймаємо розподільний пристрій підлогового виконання типу ПР11-7122-21УЗ номер схеми 122, що має автоматичний вимикач ВА55-39 на вводі (без рубильника) та 8 автоматичних вимикачів на відгалуженнях.

Переріз провідників в мережах напругою до 1кВ вибирають за допустимим нагрівом:

$$I_{доп} \geq \begin{cases} I_M - \text{для нормальних приміщень;} \\ 1{,}25 \cdot I_M - \text{для вибухонебезпечних приміщень.} \end{cases} \quad (2.51)$$

Відповідно вимог ПУЕ [6] вибираємо наступні способи прокладки ліній:

- від ТП до РП-1, РП-2 і прокладка кабелю з алюмінієвими жилами марки АВВГ в полівінілхлоридній оболонці в трубах, прокладених в підлозі;

- від РП - 1,2 до ЕП 1-20 приєднання електроприймачів забезпечується алюмінієвими проводами в полівінілхлоридній ізоляції, що прокладені в пластмасових трубах

Зважаючи на те, що на ділянці від ТП до РП-2 передається велика потужність, яку не витримує 1 кабель ААШв, встановлюємо по два кабелі однакового перерізу. Вибираємо переріз кабелю ААШв 2(4*185), для якого:

$$I_{доп}=2*243*0{,}92=447{,}1 \geq {}^{2}_{i} = 419{,}76 \text{ А.}$$

Вибір перерізів від ТП до РП-1 і від РП-1,2 до ЕП – 1-20 здійснюємо аналогічно. Так, для живлення РП-1 відповідно до визначеного

$$I_м = \frac{S_M}{\sqrt{3} * U_н} = \frac{46{,}27}{\sqrt{3} * 0{,}38} = 70.3 \text{А}$$

вибираємо кабель ААШв (4*35) з $I_{доп}$=81 А.

Аналогічно обираємо переріз решти провідників.

Таблиця 2.12 – Вибір провідників розподільної мережі

№ спож. на плані	$P_{ном}$, кВт	$I_н$, А	Марка і переріз проводу	$I_{доп}$, А
РП-1				
3	2,2	4,78	АПВ4(1*2,5)	19
9	2,2	4,78	АПВ4(1*2,5)	19
4	5	10,85	АПВ4(1*2,5)	19
5	3	8,29	АПВ4(1*2,5)	19
13,14	2,2	4,46	АПВ4(1*2,5)	19
6	7,5	14,24	АПВ4(1*2,5)	19
10	3	5,7	АПВ4(1*2,5)	19
11	3	5,7	АПВ4(1*2,5)	19

15	6	11,4	АПВ4(1*2,5)	19
16	7	13,8	АПВ4(1*2,5)	19
7	8	15,2	АПВ4(1*2,5)	19
РП-2				
2	6	14,03	АПВ4(1*2,5)	19
17	30	53,62	АПВ4(1*16)	55
1	4	8,1	АПВ4(1*2,5)	19
8	7	14,2	АПВ4(1*2,5)	19
12	5	8,9	АПВ4(1*2,5)	19
18	30	60,8	АПВ4(1*25)	70
19,20	30	56,98	АПВ4(1*25)	70

Відповідно до вимог ПУЕ [6] вибрані провідники перевіряють на допустиму втрату напруги. В нормальному режимі переріз і довжина провідників повинні забезпечувати відхилення напруги на затискачах ЕП, що не перевищує 5 відсотків.

Розрахунок втрат напруги виконують за формулою:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_M \cdot (R_{пит} \cdot \cos\varphi + X_{пит} \cdot \sin\varphi) \cdot l = \frac{P_м \cdot R_{пит} + Q_м \cdot X_{пит}}{U_{ном}} \cdot l, \qquad (2.52)$$

де $R_{пит}$, $X_{пит}$ – погонні опори ліній, Ом/км;

l- довжина дільниці мережі, км, що отримана з плану силової мережі заводу (аркуш 1 графічної частини).

Розрахунок втрат напруги виконаємо вибірково для двох споживачів по кожному РП.

Для РП-1 ЕП№14 та ЕП№16

- для ЕП-14

$$\Delta U_{ТП-РП1-ЕП14} = \Delta U_{ТП\text{-}РП1} + \Delta U_{РП1\text{-}ЕП14};$$

$$\Delta U_{ТП-РП1} = \frac{35.45*0.95 + 29.7*0.075}{380} 129 = 12{,}2\,В;$$

$$\Delta U_{14} = \frac{2.2*13.2}{380} 11 = 0{,}84\,В;$$

$$\Delta U_{ТП-РП1-ЕП14} = \Delta U_{ТП\text{-}РП1} + \Delta U_{14} = 12{,}2 + 0{,}84 = 13{,}04В.$$

$\Delta U_{ТП-ЕП14} = \frac{13{,}04}{380} 100\% = 3{,}43\%$ - така втрата напруги є допустимою;

- для ЕП-16

$$\Delta U_{16} = \frac{7*13.2}{380}17 = 4{,}13\text{В};$$

$$\Delta U_{\text{ТП}-\text{РП1}-\text{ЕП14}} = \Delta U_{\text{ТП-РП1}} + \Delta U_{14} = 12{,}2 + 4{,}13 = 16{,}33\text{В};$$

$\Delta U_{\text{ТП}-\text{ЕП14}} = \frac{16{,}33}{380}100\% = 4{,}3\%$ - така втрата напруги є допустимою;

По РП-2 - для ЕП-2 та ЕП18.

$$\Delta U_{\text{ТП}-\text{РП2}-\text{ЕП1}} = \Delta U_{\text{ТП-РП2}} + \Delta U_{\text{РП2-ЕП1}};$$

$$\Delta U_{\text{ТП}-\text{РП2}} = \frac{103.104*0.179/2 + 89.9*\cdot 0.07/2}{380}125 = 4{,}07\text{В};$$

$$\Delta U_{\text{РП2}-\text{ЕП1}} = \frac{6*\cdot 13.2}{380}12{,}5 = 2{,}6\text{В};$$

$$\Delta U_{\text{ТП}-\text{РП2}-\text{ЕП1}} = \Delta U_{\text{ТП-РП2}} + \Delta U_{\text{РП2-ЕП1}} = 4{,}07 + 2{,}6 = 6{,}67\text{В};$$

$\Delta U_{\text{ТП}-\text{ЕП1}} = \frac{6{,}67}{380}100\% = 1{,}8\%$ - така втрата напруги є допустимою;

Для ЕП18 $\Delta U_{\text{РП2}-\text{ЕП18}} = \frac{30*\cdot 1{,}32}{380}12{,}5 = 1{,}3\text{В};$

$$\Delta U_{\text{ТП}-\text{РП2}-\text{ЕП1}} = \Delta U_{\text{ТП-РП2}} + \Delta U_{\text{РП2-ЕП1}} = 4{,}07 + 1{,}3 = 5{,}37\text{В};$$

$\Delta U_{\text{ТП}-\text{ЕП18}} = \frac{5{,}37}{380}100\% = 1{,}4\%$ - така втрата напруги є допустимою.

Довжини дільниць мережі отримані з плану силових мереж цеху. Як показують розрахунки, в силу незначної довжини дільниць втрати напруги в цеховій мережі значно менші допустимих.

2.6 Вибір елементів схеми заводської розподільчої мережі напругою 0,4 кВ

Вимоги технологічного процесу та забезпечення надійності електропостачання диктують вибір радіальної схеми живлення споживачів підприємства від ТП-1 та ТП-2заводської розподільчої мережі. Вибір провідників у мережах до 1000 В здійснюється за умовою нагрівання

розрахунковим струмом. Живлення цехових РП від відповідних ТП здійснюється кабелем типу ААШв, прокладеним у земляній траншеї.

Вибір кабелів зведений до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Вибір кабелів заводської розподільчої мережі 0,4 кВ

Назва цеху	$S_р$, кВА	$I_р$, А	№ РП	Марка і переріз кабелю	$I_{доп}$, А
3.Маргарино-майонезний завод №1	214,68	310,2	РП3	ААШв(4*150)	335
4.Маргарино-майонезний завод №2	168,18		РП1 РП2	вибір в підрозділі 2.5	
5.Завод безалкогольних напоїв	107,37	155,2	РП4	ААШв(4*50)	175
6.Завод полімерної упаковки	78,094	112,8	РП5	ААШв(4*35)	140
7.Холодильно-компресорна станція	31,913	46,1	РП6	ААШв(4*10)	70
8.Котельня	23,632	34,15	РП7	ААШв(4*4)	38
11.Повітряно-компресорна станція	191,33	276,5	РП8	ААШв(4*120)	295

На втрату напруги розрахуємо вибірково по два РП (найближчого та найдальшого) з кожної ТП.

$$\Delta U_{ТП-РП3} = \frac{161.17*0.22+141.83*0.07}{380}18 = 2.14\,В; \qquad \Delta U = \frac{2.14}{380} = 0.56\%;$$

$$\Delta U_{ТП-РП6} = \frac{25.53*3.3+19.15*0.08}{380}42 = 9.48\,В; \qquad \Delta U = \frac{9.48}{380} = 2.5\%.$$

Аналогічно виконуються розрахунки для ТП-2

$$\Delta U_{ТП-РП11} = \frac{54.6*1.32+48.07*0.08}{380}20 = 4.0\,В; \qquad \Delta U = \frac{4.0}{380} = 1.05\%;$$

$$\Delta U_{ТП-РП15} = \frac{72.99*0.66+54.75*0.075}{380}38 = 5.23\,В; \qquad \Delta U = \frac{5.23}{380} = 1.38\%.$$

Наведені розрахунки показують, що заводські мережі, вибрані за умовою нагрівання струмами навантаження відповідають умовам перевірки на втрату напруги, яка для всіх РП менша 5%.

3 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Технічна необхідність керування реактивною потужністю в електричних мережах

Необхідність керування компенсуючими установками обумовлена рядом причин, основні з яких такі:

– у переважній своїй більшості добові графіки активних і реактивних навантажень у вузлах електричних мереж споживачів і енергосистем є нерівномірними (при зміні реактивного навантаження необхідно відповідно змінювати потужність КУ, що дасть можливість уникнути періодів перекомпенсації і збільшення за рахунок цього втрат електроенергії) [2];

– для зменшення плати за реактивну потужність і енергію споживачам необхідно виконувати вимоги енергосистеми до споживання реактивної потужності з її мережі в характерні режими електроспоживання (у максимальному, мінімальному і міжпіковому режимах); введення зонних тарифів на активну і реактивну енергію; вимоги енергозбереження [7].

Здійснюючи керування реактивною потужністю забезпечується мінімальне значення втрат активної енергії на її передачу за умови виконання всіх вимог енергопостачальної організації та мініамальна плата за спожиту електроенергію.

3.2 Компенсація реактивної потужності за допомогою БСК

Приймачі і перетворювачі електроенергії, що мають в конструкції обмотки (електродвигуни, трансформатори і ін.), споживають не тільки активну потужність, але і реактивну [8]. При передачі по елементах системи електропостачання реактивної потужності в них виникають втрати активної потужності, за які розплачується підприємство-споживач.

Потреби в реактивній потужності можуть перевищувати можливості її покриття генераторами на електростанціях, оскільки більша частина промислових навантажень споживають також і реактивну потужність. Як відомо, чим більша реактивна потужність при постійній активній, тим нижче коефіцієнт потужності [8]. Заходи з підвищення коефіцієнта потужності в електроустановках можна розділити на дві групи:

- перша – при яких не потрібна установка компенсуючих пристроїв;

- друга – при яких потребується установка компенсуючих пристроїв.

Компенсація реактивної потужності (КРП) є важливою складовою частиною комплексу організаційно-технічних заходів з регулювання режимів електроспоживання і обмеження максимумів навантаження на промислових підприємствах.

КРП у споживачів дозволяє [7]:

- знизити плату постачальнику за спожиту електроенергію;

- знизити струм в елементах системи електропостачання, що призводить до зменшення поперечного розрізу проводів;

- зменшити повну потужність, що знижує потужність трансформаторів і їх число;

- зменшити втрати активної потужності, а відповідно, і потужності генераторів на електростанціях;

- покращити якість електроенергії за рахунок зменшення відхилень напруги від номінального значення.

Сутність будь-яких заходів із зниження споживання реактивної потужності полягає в обмеженні впливу електроприймача на мережу живлення шляхом впливу на сам електроприймач.

Зазвичай КРП реалізується за допомогою таких технічних засобів як компенсуючі пристрої різного роду: синхронні двигуни (компенсатори), комплектні конденсаторні батареї, фільтрокомпенсуючі пристрої, статичні компенсатори (керовані тиристорами реактори або комутовані тиристорами конденсатори), які розміщуються в тих чи інших вузлах мережі споживача [7].

Одним із найважливіших показників економічності компенсуючих засобів є питомі витрати в них активної потужності на отримання реактивної потужності. Не можна вважати економічним і доцільним отримання реактивної потужності за рахунок великих витрат активної потужності.

БСК мають ряд переваг перед іншими компенсуючими пристроями [2]:

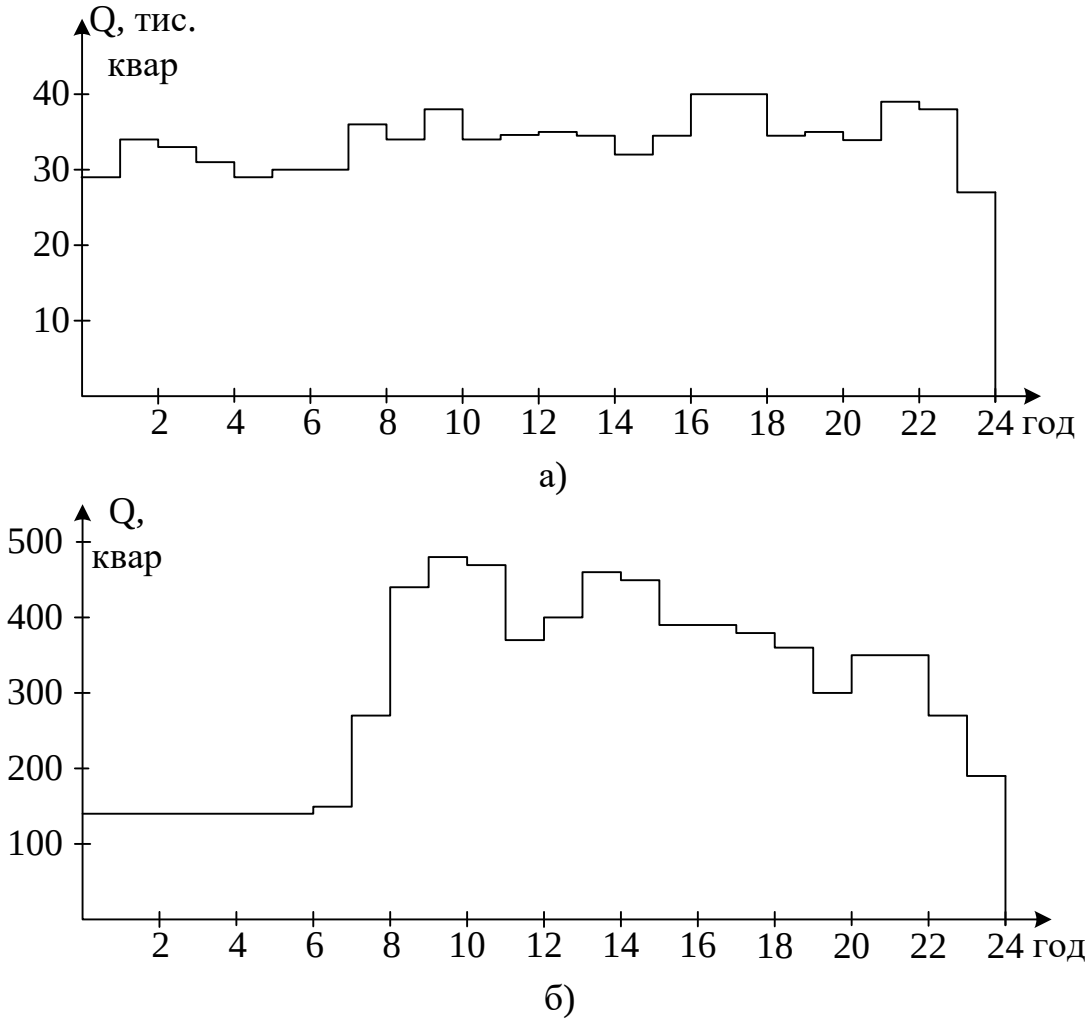
- малі питомі втрати активної потужності 0,005 кВт на 1 квар;
- відсутні обертові частини;
- простий монтаж і експлуатація (не треба фундаменту);
- невисокі, порівняно з іншими компенсаторами, капіталовкладення;
- можливість підбирання будь-якої необхідної потужності;
- більше можливостей при встановленні в електричній мережі;
- відсутність шуму під час роботи;
- невеликі затрати на експлуатацію.

Сучасні БСК випускаються у трифазному та однофазному виконанні, мають вмонтовані розрядні опори та захист від перенапруг, який може мати місце в момент комутації, що забезпечує їх високу надійність. Розширено діапазон потужностей БСК: напругою 0,4 кВ від 2,5 квар і напругою 6,3 кВ від 25 квар. Використання сучасних матеріалів дозволило зменшити габаритні розміри. Розширено діапазон робочих температур від -40 °С до 50 °С у виконанні для внутрішнього та зовнішнього встановлення (IP 42) [2].

До основних їх недоліків слід віднести залежність генерованої потужності БСК від напруги та частоти; чутливість до спотворення живлячої напруги; недостатня міцність, особливо при коротких замиканнях та перенапругах [2].

Вибираючи потужність БСК необхідно слідкувати, щоб ця установка покривала реактивне навантаження цеха чи підприємства і не генерувала реактивну потужність в мережу енергосистеми [1]. Така перекомпенсація приводить лише до втрат потужності, що викликається передачею в мережу від підприємства реактивної потужності. Оскільки таке явище має місце при спадах графіка навантаження (вночі, у вихідні дні) необхідно, щоб потужність

під’єднаних БСК використовувалась в залежності від графіка реактивного навантаження підприємства (рис. 3.1).



Риссунок 3.1 – Добові графіки реактивної потужності підприємств:
а – чорної металургії;
б – машинобудування і металообробки

Керування генеруючої БСК реактивної енергії може здійснюватись ступенями шляхом ділення БСК на секції. Чим більша кількість таких секцій, тим досконаліше керування.

На рис. 3.2 зображений добовий графік споживання реактивної потужності. Проведена на ньому лінія АВ, яка показує, що робота БСК може здійснюватись в режимі, коли одна її секція $Q_б/2$ ввімкнена 24 години на добу, а друга вмикається по графіку навантаження тільки на інтервал часу t_1 [1].

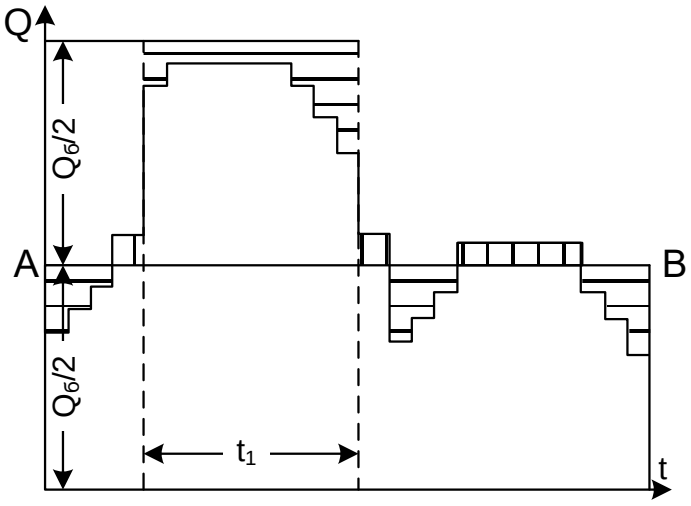


Рисунок 3.2 – Приклад використання графіка реактивних навантажень для вирішення питання про поділ БСК на секції

В даному випадку БСК, що використовується, розділена на дві секції. Прийняте рішення не є найкращим, воно служить лише прикладом поділу БСК на секції. В конкретному випадку питання про поділ повинно вирішуватись залежно від графіка реактивної потужності і схеми підстанції. Секції автоматично вмикаються та вимикаються в залежності від рівня напруги і періоду доби чи за іншими параметрами.

Вибір типу, потужності, місця встановлення і принципу керування БСК має забезпечувати найбільший ефект. При цьому слід враховувати, що:

- найбільший економічний ефект досягається при розміщенні БСК безпосередньо поблизу електроприймача;

- БСК можуть встановлюватися поблизу одиничного навантаження, з великим коефіцієнтом використання;

- індивідуальна компенсація найбільш ефективна і доцільна для потужних електроприймачів, але повинна супроводжуватись відключенням компенсуючого пристрою з відключенням споживача.

Економічно доцільним варіантом КРП є варіант, що забезпечує мінімум приведених річних затрат, які включають затрати на БСК і затрати обумовлені

виробництвом та розподілення реактивної потужності. На керовані змінні функції затрат накладаються режимні і технічні обмеження:

1) за умовою балансу реактивної потужності:

$$Q_{сум} - Q_{н.сум} - \Delta Q_{сум} + Q_{е1} = 0, \quad (3.1)$$

де $Q_{сум}$ - сумарна потужність БСК;

$Q_{н.сум}$ - сумарне навантаження;

$\Delta Q_{сум}$ - втрати реактивної потужності;

$Q_{е1}$ - вхідна реактивна потужність;

2) за допустимим режимом роботи БСК:

$$Q_{min} \le Q \le Q_{max}, \quad (3.2)$$

де Q_{min}, Q_{max} - мінімальне та максимальне значення реактивної потужності споживання чи генерації відповідно;

3) напруга на затискачах приймачів електроенергії:

$$U_{min} \le U \le U_{max}, \quad (1.3)$$

де U_{min}, U_{max} - рівень напруги, що відповідає мінімально та максимально допустимому відхиленню напруги.

3.3 Способи КРП

1. Індивідуальна КРП [2] – БСК під’єднують безпосередньо біля електроприймачів, рис. 3.3. В даному випадку вимикач електроприймача одночасно є вимикачем БСК. Використовується при компенсації одиничних,

постійно під’єднаних протягом довгого часу потужностей вище 20 кВт. Недолік - потребує значних капіталовкладень.

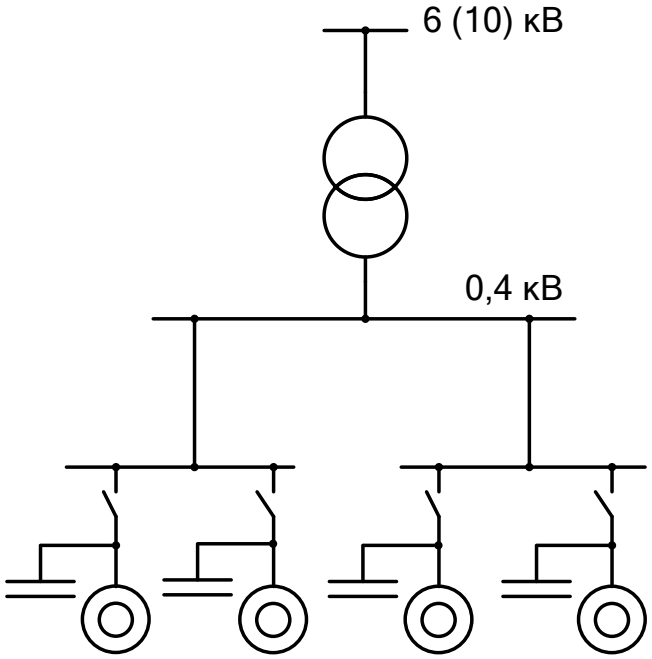


Рисунок 3.3 – Схема під’єднання БСК при індивідуальній КРП

Індивідуальна компенсація – це найпростіше технічне рішення. БСК підбирається по потужності і cosφ двигуна, тому реактивна потужність двигуна компенсується постійно протягом всього дня, cosφ достатньо високий. Додаткова перевага індивідуальної КРП це те, що експлуатаційні затрати на неї порівняно невеликі.

Індивідуальна компенсація найбільш ефективна, коли більша частина реактивної потужності генерується невеликою кількістю навантаження, що споживає найбільшу потужність достатньо довгий період часу.

2. Групова [2] – застосовується при КРП декількох активно-індуктивних навантажень, під’єднаних до одного розподільчого пристрою зі спільною БСК, рис. 3.4. Збільшення коефіцієнта одночасності ввімкнення навантаження зменшує потужність і підвищує ефективність роботи БСК, яка може встановлюватись на стороні 0,4 кВ або 6 (10) кВ. Недоліки – окрема комутація

БСК і неповне розвантаження розподільчих мереж підприємства від реактивної потужності.

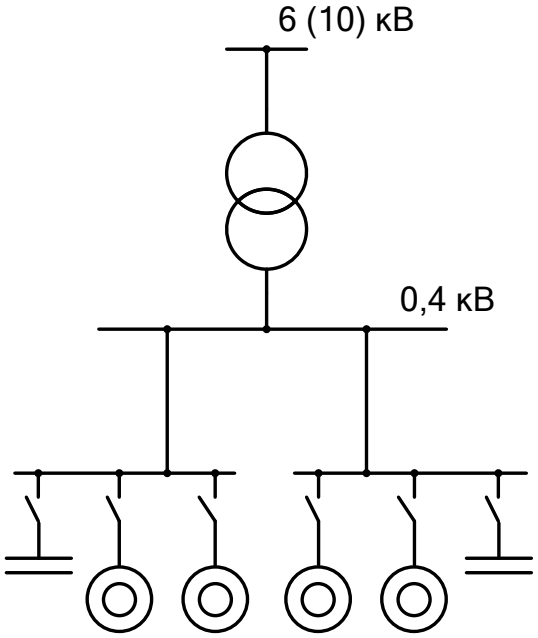


Рисунок 3.4 – Схема під’єднання БСК при груповій КРП

3. Загальна (централізована) компенсація [2] – КРП за допомогою однієї БСК встановлюваної на комплектній трансформаторній підстанції або у складі головного розподільного пристрою, рис. 3.5. Загальна КРП вимагає менших витрат, але не розвантажує цехові кабелі і кабелі індивідуальних споживачів.

Денний тренд (характер зміни навантаження), є основним чинником, що впливає на вибір схеми КРП. На багатьох підприємствах не все устаткування працює одночасно, багато верстатів задіяно всього декілька годин в день. Тому індивідуальна компенсація стає дуже дорогим рішенням, при великій кількості устаткування і відповідно великому числі встановлюваних БСК. Більшість цих БСК не буде задіяна довгий період часу.

Централізована компенсація застосовується там, де навантаження змінюється протягом дня. При цьому споживання реактивної потужності протягом дня теж змінюється, тому використання автоматично керованих БСК переважає, ніж некерованих.

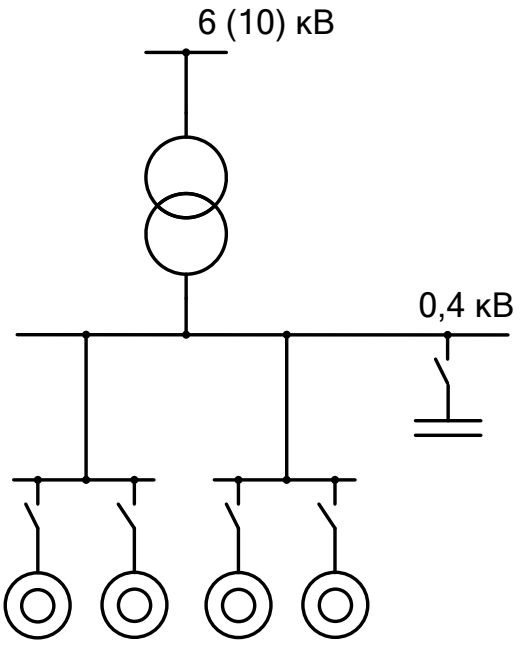


Рисунок 3.5 – Схема під’єднання БСК при загальній КРП

Дослідження, проведені в роботі, стосуються випадків групової та загальної КРП.

Кінцеві результати з КРП визначаються математичним забезпеченням систем керування, яке повинно синтезуватися, виходячи із принципу системності. Його практична реалізація передбачає системне охоплення в дослідженні (розгляд проблеми із різних сторін) та системне представлення (досягається побудовою, як правило, єдиної математичної моделі керування) [1].

3.4 Системні дослідження роботи БСК в системах електропостачання

БСК – пристрої багатоцільової дії і їх використання пов’язано з такими ефектами.

1. Зменшення втрат активної потужності [1,2,7]. Додаткові втрати активної потужності і енергії виникають у всіх елементах СЕП внаслідок завантаження їх реактивною потужністю. При передачі активної P і реактивної Q потужностей через елемент опору R втрати активної потужності складають:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p, \qquad (3.4)$$

де ΔP_a - втрати активної потужності при передачі активної потужності;

ΔP_p - втрати активної потужності при передачі реактивної потужності.

Додаткові втрати активної потужності ΔP_p, викликані протіканням реактивної Q, пропорційні квадрату її величини. При ввімкненні БСК потужністю $Q_{БСК}$ значення втрат активної потужності зменшується (за умови $Q \geq Q_{БСК}$):

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_{БСК})^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{(Q - Q_{БСК})^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p. \qquad (3.5)$$

2. Регулювання напруги [1,2,8]. Забезпечити необхідний рівень напруги на затискачах електроприймачів можна шляхом зміни напруги на затискачах джерел живлення, коефіцієнта трансформації трансформаторів та значень втрат напруги в елементах СЕП. Зміна напруги на шинах джерела призводить до зміни напруги на затискачах всіх електроприймачів, під'єднаних до них.

Ввімкнення чи вимкнення секцій БСК ємністю С приводить до зміни напруги в точці її під'єднання на величину (%):

$$\Delta U_{БСК} = \frac{\omega \cdot C \cdot U \cdot X_C}{U_{ном}} \cdot 100\%, \qquad (3.6)$$

де $\omega = 2\pi f$; f – частота змінного струму;

X_C - індуктивний опір зовнішньої мережі по відношенню до місця під'єднання БСК;

U - напруга в точці під'єднання БСК;

$U_{ном}$ - номінальна напруга.

Одночасне регулювання напруги на затискачах всіх електроприймачів є доцільним тільки в тому випадку, якщо вони однорідні. Якщо електроприймачі не однорідні, необхідно проводити аналіз їх графіків навантаження та групування їх таким чином, щоб в межах кожної групи електроприймачі можна було вважати однорідними.

Керовані БСК є найбільш простим та ефективним засобом місцевого регулювання напруги. Слід застерегти, що при ступінчастому регулюванні потужності БСК в СЕП можливі випадки виникнення паралельного резонансу (резонансу струму) на частоті якої-небудь із гармонік джерела.

3. Зниження розмаху коливання напруги за рахунок зниження розмаху коливання реактивного навантаження здійснюється з допомогою швидкодіючих БСК [7,8]. Ефективність цього способу залежить від швидкодії, з якою ці БСК можуть слідкувати за змінами навантаження і в залежності від цього змінювати свою потужність. На рис. 3.6 приведені графіки зміни реактивної потужності електроприймачів, БСК з плавним регулювання потужності і графік сумарного навантаження, які показують, що розмах коливання останньої при використанні БСК з недостатньою швидкодією зростає.

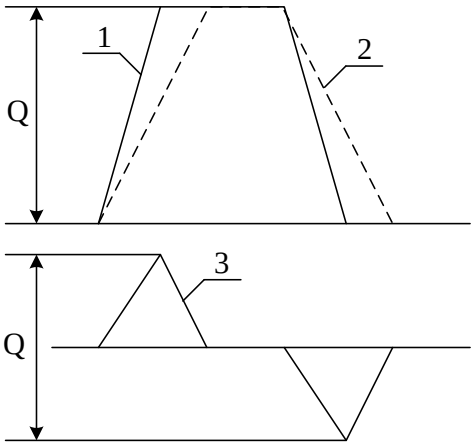


Рисунок 3.6 – Графіки зміни реактивної потужності:

1 – електроприймача;

2 – БСК з плавним регулюванням;

3 – сумарного навантаження

При використанні БСК із дискретним регулюванням виникає питання про доцільне число секцій керування. На рис. 3.7 показано, що при недостатньому їх числі розмах коливання напруги може знизитись несуттєво, а частота коливань різко збільшиться.

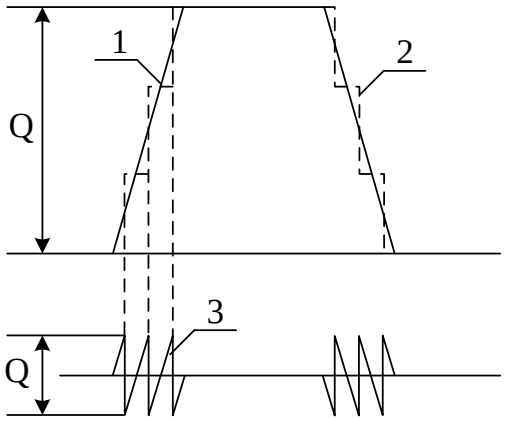


Рисунок 3.7 – Графіки зміни реактивної потужності:
1 – електроприймача;
2 – БСК із дискретним регулюванням;
3 – сумарного навантаження

4. Зниження несиметрії електричного режиму [1,8]. Несиметрію режиму, обумовлену несиметричними електроприймачами, можна обмежити до необхідних значень як за допомогою схемних рішень, так і шляхом використання спеціальних симетруючих пристроїв, синтезованих на базі БСК.

Найбільш ґрунтовні дослідження стосуються технічних задач симетрування струмів і напруг [9]. Симетрування за допомогою симетруючих пристроїв зводиться до компенсації еквівалентного струму зворотної послідовності несиметричного навантаження та, як наслідок, обумовленої ним напруги зворотної послідовності.

В залежності від місця установки симетруючих пристроїв розрізняють індивідуальний, груповий, централізований та комбінований способи симетрування. Індивідуальні симетруючі пристрої встановлюються безпосередньо у несиметричних електроприймачів. При груповому

симетруванні в різних точках електромережі СЕП ставляться кілька симетруючих пристроїв, кожний із яких симетрує визначену ділянку електромережі з під'єднаною до неї групою несиметричних електроприймачів. При централізованому симетруванні в розподільчих мережах СЕП ставиться один симетруючий пристрій. Комбінований спосіб симетрування передбачає поєднання двох чи трьох симетруючих способів.

Кожний із представлених способів має свої переваги. Так, індивідуальний спосіб дозволяє усунути несиметрію струмів та напруг безпосередньо у споживача, але при цьому встановлена потужність силових елементів симетруючих пристроїв використовується нераціонально. При централізованому способі необхідна менша встановлена потужність елементів пристроїв, але в електромережі СЕП із несиметричними навантаженнями несиметрія струмів зберігається. Груповий спосіб симетрування поєднує переваги та недоліки індивідуального і централізованого способів.

Симетруючі пристрої виконуються керованими чи некерованими. Керовані симетруючі пристрої можуть мати як безперервне, так і ступінчасте (дискретне) керування. Симетруючі пристрої набираються з кількох груп, одна з яких підключається постійно, а інші – поперемінно.

Сумарна потужність симетричного пристрою вибирається з умови КРП. Вона перерозподіляється по фазах симетруючого пристрою таким чином, щоб струм зворотної послідовності несиметричної БСК компенсував струм зворотної послідовності несиметричного навантаження. У загальному випадку симетрування може бути здійснено за допомогою двох ємнісних елементів, під'єднаних на різні лінійні напруги (в залежності від фази струму зворотної послідовності).

Недостатньо дослідженими залишаються явища впливу несиметрії напруги на роботу БСК симетричного виконання та впливу технічних рішень із КРП, які здійснюються БСК, на такі параметри режиму як напруга та струм зворотної послідовності в мережах живлення. Тут та далі під БСК симетричного

виконання будемо розуміти БСК потужності по фазах яких, що відповідають номінальній напрузі, однакові.

Залежність потужності такої БСК від несиметрії режиму наведена в [18]:

$$\Delta Q = Q_{ном} \cdot \frac{U_{ном}^2 - U_1^2 \cdot (1 + k_{2U}^2)}{U_{ном}^2}, \qquad (3.7)$$

де $Q_{ном}$ - номінальна реактивна потужність БСК;

U_1 - лінійна напруга прямої послідовності;

$U_{ном}$ - номінальна напруга БСК;

k_{2U} - коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності.

В [1] указується на те, що ввімкнення БСК симетричного виконання в умовах несиметрії напруги в вузлі приводить до посилення несиметрії та відповідно до збільшення додаткових втрат активної потужності.

5. Зниження рівня вищих гармонік досягається за допомогою фільтрів вищих гармонік, що представляють собою послідовно з'єднані реактор і БСК (рис. 3.8) [1]. Параметри реактора і БСК підбирають таким чином, щоб їх результуючий опір на частоті відповідної гармоніки був рівним нулю. В загальному випадку на кожну гармоніку необхідно свій фільтр.

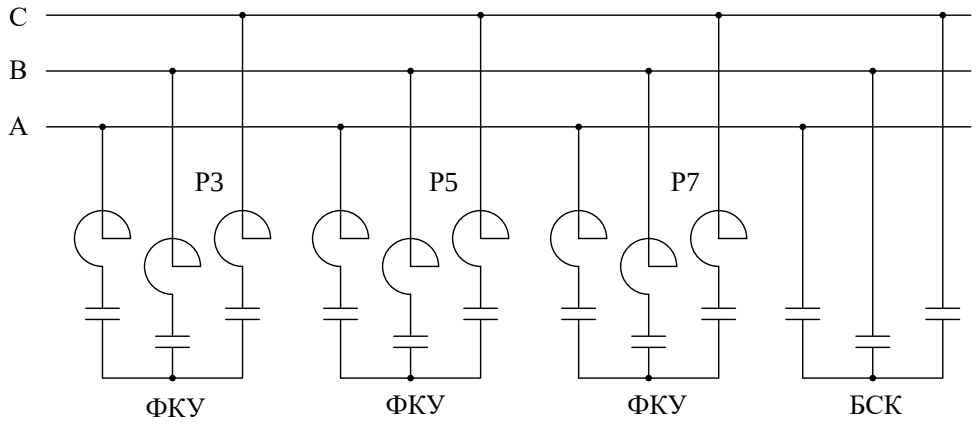


Рисунок 3.8 – Схема під'єднання ФКУ і БСК

Результуючий опір фільтра на υ-й гармоніці $X_{фυ} = X_{Lυ} + X_{Cυ}$ буде рівним нулю при умові $X_{Lυ} = -X_{Cυ}$. Так як $X_{Lυ} = υX_L$, а $X_{Cυ} = X_C / υ$, де X_L і X_C - опори реактора і БСК на основній частоті, то опір фільтра на основній частоті носить ємнісний характер:

$$X_ф = X_L + X_C = X_C \cdot \left(1 - \frac{1}{υ^2}\right). \tag{3.8}$$

Потужність такої БСК дещо менша потужності конденсаторів, що використовуються в ній:

$$\frac{Q_ф}{Q_к} = \frac{U^2 \cdot X_C}{X_ф \cdot U_C^2} = \frac{υ^2 - 1}{υ^2}, \tag{3.9}$$

однак одночасно з генерацією реактивної потужності забезпечується зниження рівня вищих гармонік. Тому такі установки називають фільтрокомпенсаційними (ФКУ).

Недоліком такої ФКУ в порівнянні зі звичайною БСК є нерегульованість її потужності.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

У бакалаврській роботі передбачена розробка системи електропостачання ТОВ «АВІС». В цехах підприємтва передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці. Усі металеві неструмопровідні частини (корпуса електродвигунів, шаф, світильників, тощо), які можуть опинитися під напругою в наслідок пошкодження ізоляції, заземлюються шляхом приєднання до нульового проводу живлячої мережі.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на оперативно-ремонтний персонал, що обслуговує електротехнічне обладнання ТОВ «АВІС» [ГОСТ 12.0.003-74]:

фізичні:

• підвищена та понижена температура повітря робочої зони;

• рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;

• підвищена та понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;

• недостатнє освітлення робочої зони;

• недостатність природного освітлення;

• небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якої може відбутися через тіло людини;

• підвищений рівень шуму на робочому місці;

• підвищений рівень вібрації;

• підвищената понижена вологість повітря;

• підвищена та понижена рухомість повітря.

психофізіологічні:

• фізичні перевантаження (динамічні);

• нервово - психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

Живлення силового обладнання та системи освітлення ТОВ «АВІС» здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В) [10].

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв’язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно [10]:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник [10]. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту [10]. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами [10] називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, який приводить в рух механізм, необхідно зупинити електродвигун та на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

При роботі на електродвигуні напругою вище 1000 В або механізму, який він приводить в рух, зв'язаній з доторканням до струмоведучими або обертаючими частинами, з електродвигуна повинна бути знята напруга.

В електроустановках вище 1000 В з кожної сторони, звідки до комутаційних апаратів може бути подана напруга на робоче місце, повинен бутивидимий розрив, який створений від'єднанням або зняттям шин та проводів, відключенням роз'єднувачів, зняттям запобіжників, а також відключенням роз'єднувачів та вимикачів навантаження, за винятком тих, у яких автоматичне включення здійснюється пружинами, встановленими на самих апаратах.

При роботах за межами КРУ на відхідних ПЛ або КЛ на підключеному до них обладнані візок з вимикачем необхідно викотити з шафи; верхню заслінку або дверці закрити на замок та вивісити плакати "НЕ ВМИКАТИ!" або "НЕ ВМИКАТИ! РОБОТА НА ЛІНІЇ" [10].

При накладенні заземлювачів у шафах КРУ у випадку роботи на відходячих ПЛ необхідно враховувати слідуючи вимоги: ПЛ напругою вище 1000 В заземлюються в усіх РУ і у секційних комутаційних апаратах, де відключена лінія.

Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, перераховані вище міри можуть бути замінені розшиновкою або від'єднанням кінців кабелю проводів від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огороджені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, збірок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає наряд (розпорядження).

Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливо обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, повинні бути закриті та заперті на замок засувки цих механізмів, а також прийняті заходи для гальмування ротора електродвигунів.

Випробування електроприводів разом з виконуючим механізмом потрібно проводити з дозволу начальника зміни технологічного цеху, в якому вони встановлені.

При видачі робиться запис в оперативному журналі технологічного цеху, а отриманні цього дозволу - в оперативному журналі цеху (ділянки), який проводить випробування.

Ремонт і наладку електросхем електроприводів, не з'єднаних з виконуючим механізмом, регулюючих органів та запірної арматури, можнапроводити по розпорядженню. Дозвіл на їх випробування дає працівник, який дав розпорядження на вивід електропривода в ремонт, наладку. Про це повинен бути зроблений запис при оформленні розпорядження.

При роботі на електродвигуні заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні в РУ.

Після випробування проводиться повторний допуск з оформленням в наряді. При виконанні роботи по розпорядженню на повторний допуск розпорядження дається заново.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [10] встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 4.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт IIа.

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V,м/с
Теплий	Середньої важкості IIа	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°С за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальноїтемператури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них навідстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огороджуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 [10].

Таблиця 4.2- Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб.м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил тваринного походження	4	4	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій

області вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню області. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

Тому необхідно здійснювати наступні заходи:

- очищувати металевий пил якнайчастіше.
- щодня протирати гарячі поверхні.
- принаймні, двічі в рік проводити генеральне прибирання всіх областей, включаючи кроквяні ноги, з використанням продувки або пилососа.
- при високих концентраціях обробляти області по частинам.

Низька вологість збільшує потенційну небезпеку, це повинне прийматися в увагу при продувках.

Планувати продувки або прибирання так щоб вони приходилось на час коли устаткування виключене, як, наприклад, у другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

4.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення

В залежності від джерела світла промислове освітлення поділяється на: - природне освітлення - освітленість приміщень світлом неба (прямого або відображеного), яке проникає через світлові пройми в зовнішніх огороджених конструкціях. По своєму спектральному складу воно є найбільшсприятливим. Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО (е). КПО - відношення природного освітлення, яке створюється в деякій точці заданої площини всередині приміщення світлом неба, до значення зовнішньої горизонтальної освітленості.

КЕО при природному та сумісному освітленнях.

Характеристика зорової роботи –дуже малої точності;

Розряд - VI;

Контраст об'єкту розпізнавання - незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкту з фоном;

Характеристика фону - незалежно від характеристик фону і контрасту об'єкту з фоном;

Бокове КЕО, %:

-природне 0,5;

-суміщене 0,3.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна. Нормовані значення КЕО для будинків визначаються за формулою.

Штучне освітлення.

- штучне освітлення буває двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місцеве освітлення -освітлення, яке створюється світильниками, концентруючими світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Штучне освітлення, лк:

- загальне 150 лк;

Для забезпечення нормативного значення e_{min} передбачено:

Штучне освітлення в приміщенні цеху забезпечується світильниками типу РСП08×250 (однолампові) з лампами ДРЛ-250.

4.2.4 Виробничий шум

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 20 \cdot lg\left(\frac{P}{P_0}\right) = 20 \cdot lg\left(\frac{U}{U_0}\right), \quad (4.2)$$

де L- рівень шуму, дБ;

Р-звуковий тиск, Па;

U_o- коливальна швидкість, $5 \cdot 10^{-8}$ м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньогеометричною частотою 1000 Гц, умовно прийняте рівним $2\text{-}10^{-5}$ Па.

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум Загальні вимоги безпеки».

Таблиця 4.3 –Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зсередньогеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Шум порушує нормальну роботу шлунка, особливо впливає на центральну нервову систему. Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні, проектом передбачено засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху.

Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі.

- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати малошумові вентилятори.

4.2.5 Вібрація

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому цеху присутня вібрація типу - За. Тобто технологічна вібрація,яка діє на персонал цеху, або яка передається на робочі місця, не маючи джерел випромінювання.

Основні параметри вібрації, такі як середньоквадратичне значення віброприскорення та віброшвидкості, логарифмічні рівні приведені у таблиці 6.4.

Таблиця 4.4 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні, корекційовані по частоті та еквівалентні корекційованізначення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$м \cdot с^{-2}$	ДБ	$м \cdot с^{-2} \cdot 10^{-2}$	ДБ
Загальні	Zo, Yo, Xo	0,1	100	0,2	92

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єктусистеми, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднаннясистеми;
- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці,вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

4.6 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення цехів підприємства за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відноситься до категорії Д - негорючі речовини і матеріали в холодному стані з зонами П-Іа, де розташовані тверді горючі речовини (тара). Цехи розташовані у будівлях II ступеня вогнестійкості.

Таблиця 4.5 - Мінімальні межі вогнестійкості та мінімальні межі розповсюдження полум'я по будівельних конструкціях.

	Стіни				Колони	Сходові клітини, балки, марші	Плити, настили та інші несучі конструкції, перекриття	Елементи перекриття	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі				Плити настили і прогони	Балки, ферми
II	2/0	1/0	0,25/0	0,25/0	2/0	1/0	0,75/0	0,25/0	0,25/0

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В проектованому приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м^2 наступна: до 1 - 100 м^2.

Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів показана в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів

Об'єм приміщення, тис. м3	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини Евакуаційного виходу(дверей)
940	Д	II	35

На території підприємства встановлено 3 пожежних щита. До комплексу засобів пожежогасіння, які розміщуються в ньому, слід включати: вогнегасники ВП-5 – 2шт., ящик з піском – 1шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті 2м х 2м – 1шт., гаки –3 шт., лопати – 2шт., ломи – 2шт., сокири – 2шт.

Ящик для піску має місткість 3м^3 та укомплектовані совковою лопатою. У приміщеннях щит повинен бути в легкодоступному місці, ближче до виходу.

ВИСНОВКИ

1. Розроблений проект системи електропостачання ТОВ «АВІС» відповідає всім вимогам ПУЕ.

2. Всі елементи системи електропостачання будуть надійно працювати як в нормальних, так і в аварійних режимах роботи мережі, що підтверджено відповідними розрахунками.

3. В бакалаврській роботі прийнято ряд енергозберігаючих технічних рішень:

– установка комплектних батарей статичних конденсаторів типу УКРП-0,4 загальною потужністю 880 квар для компенсації реактивної потужності;

– установка ЦРП поблизу центра електричних навантажень підприємства, що мінімізує втрати електричної енергії в мережах 10 кВ підприємства.

4. При виборі електрообладнання перевага віддавлась електрообладнанню вітчизняного товаровиробника.

5. Обгрунтована технічна необхідність керування реактивною потужністю в електричних мережах та розглянуті способи компенсації реактивної потужності за допомогою БСК.

6. Розроблено комплекс заходів з безпечної експлуатації об’єкту, з гігієни праці та виробничої санітарії і пожежної безпеки для підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурбело М.Й Розрахунки в системах електропостачання / М.Й Бурбело – Вінниця ВДТУ, 2002. – 76 с.

2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / Под ред. А.А. Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - Т.1 - 580 с., т.2 - 591 с.

3. Подстанции трансформаторные в Украине. Код доступу: http://www.ua.all.biz/podstancii-transformatornye-bgg1003031

4. Рожкова Л.Д. Элекрооборудование станций и подстанций. - / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин – М.: Энергоатомиздат, 1987.

5. Провод кабель. Код доступу: http://www.brille.ua/svetilniki/provod-kabel/?gclid=CImZ57vgsMsCFYoEwwodGFoI9Q

6. Правила улаштування електроустановк ПУЕ-2009. – Х. : Вид-во «Форт». 2009. -700с.

7. Рудницький В.Г. Внурішньозаводське електропостачання. / В.Г. Рудницький –К. : Вид-во Освіта України 2013. -287с.

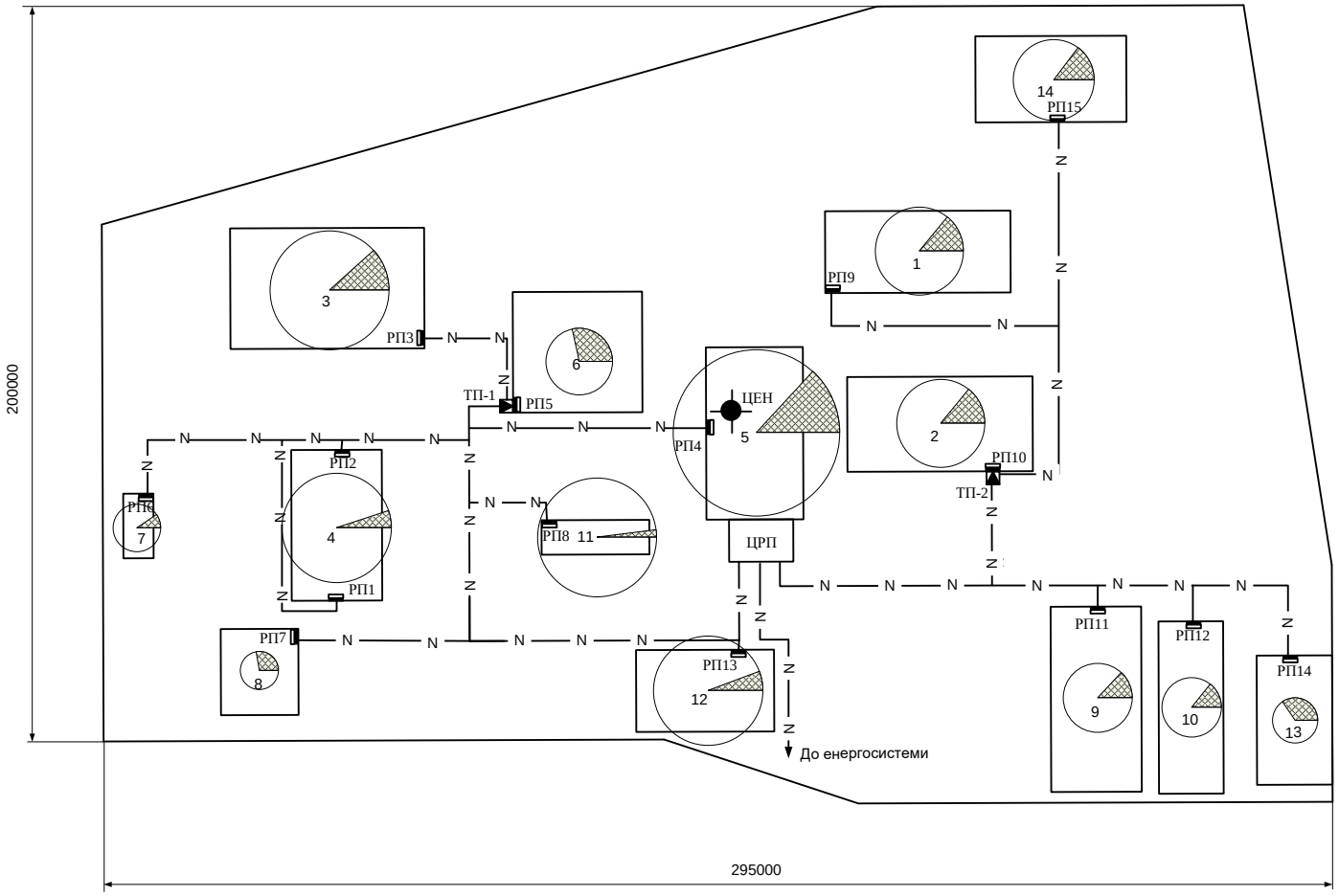
8. Князевский Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий. / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин – М.: Высшая школа, 1986.

9. Крупович В.И. Справочник по проектированию электроснабжения. / В.И. Крупович, Ю.Г. Барыбин, М.Л. Самовер - М.: Энергоиздат, 1980.

10. Безопасность труда в промышленности. Справочник. - К.: Техніка, 1982.

ДОДАТКИ

Додаток А.
Генплан підприємства з електричними мережами



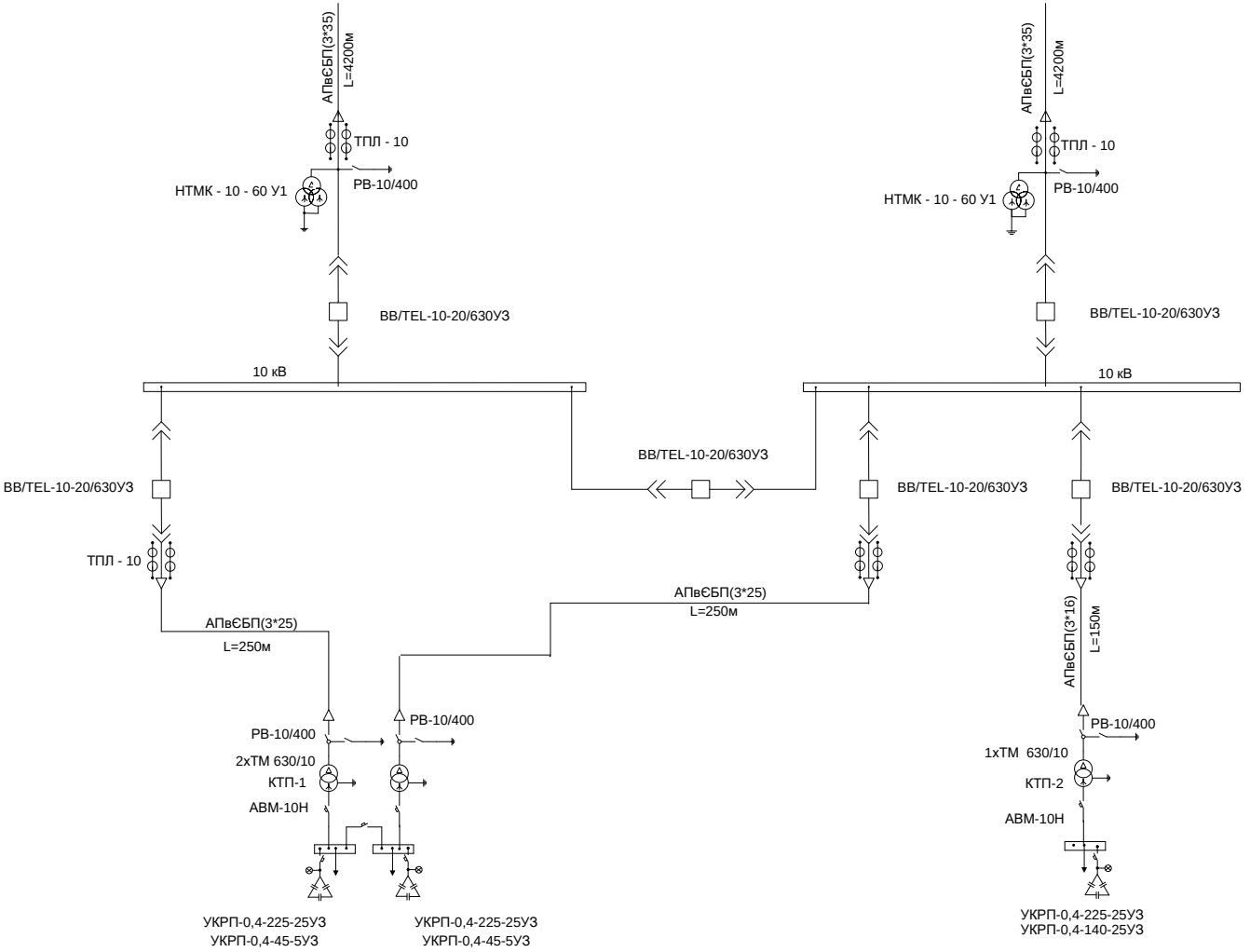
Умовні позначення:

ЦЕН - центр електричних навантажень підприємства

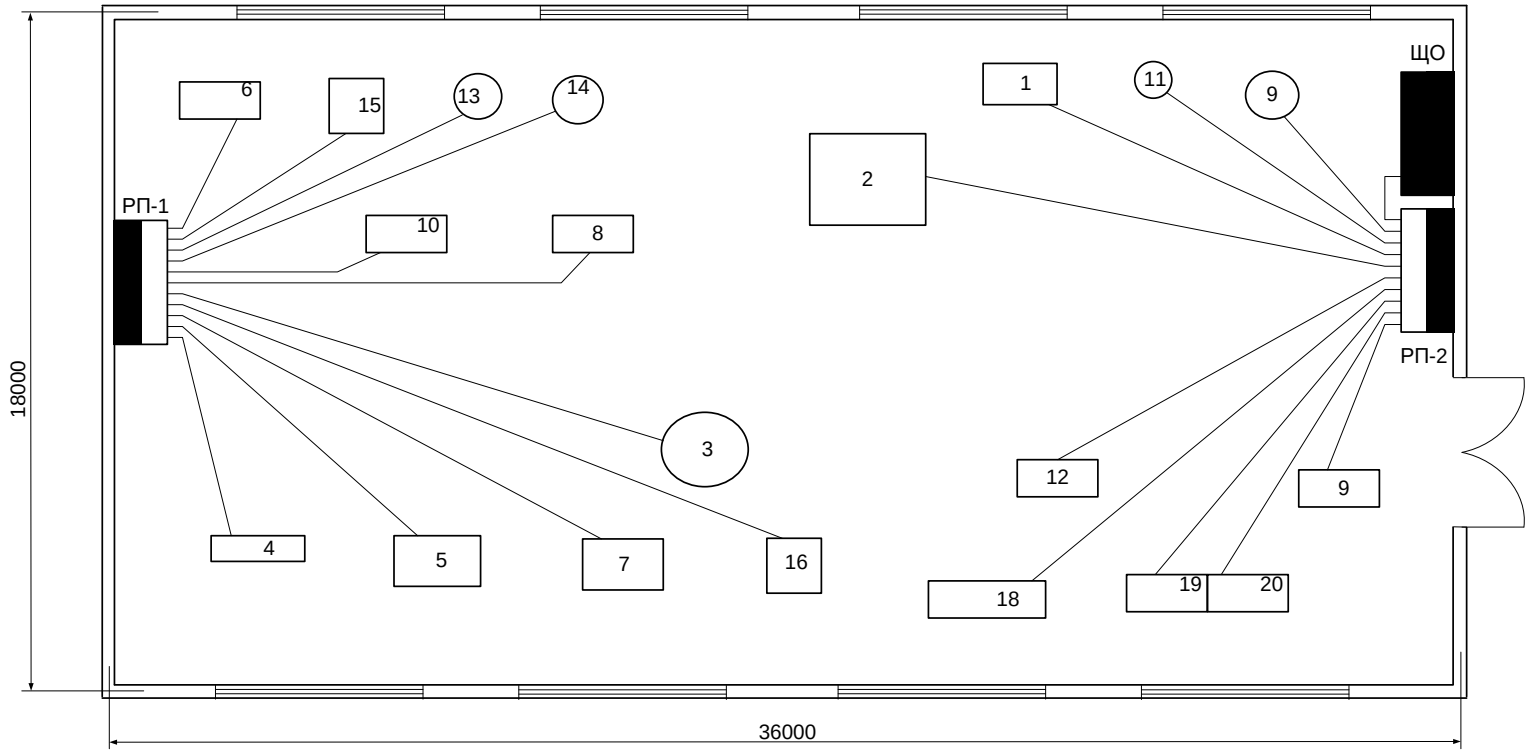
N — N — кабельна траншея, в якій можуть прокладатися кабелі 10 та 0,4 кВ

Поз Поз нач.	Найменування	Кіл	Примітка
1	Олієочисний завод №1	1	
2	Олієочисний завод №2	1	
3	Маргарино-майонезний завод №1	1	
4	Маргарино-майонезний завод №2	1	
5	Завод безалкогольних напоїв	1	
6	Завод полімерної упаковки	1	
7	Холодильно-компресорна станція	1	
8	Котельня	1	
9	Склад	1	
10	Склад	1	
11	Повітряно-компресорна станція	1	
12	Механічна майстерня	1	
13	Гараж	1	
14	Очисні споруди	1	

Додаток Б.
Однолінійна схема електропостачання підприємства



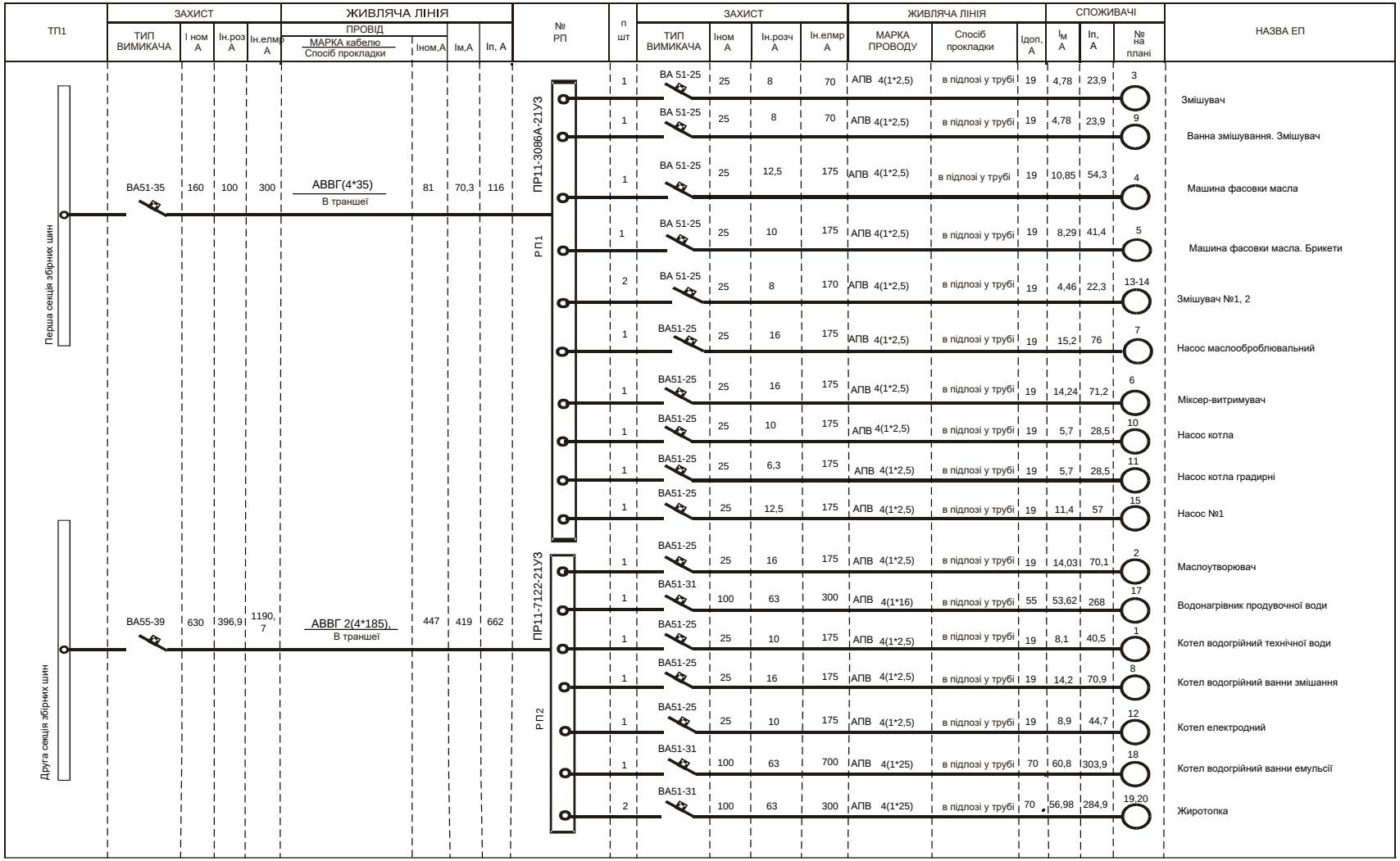
Додаток В.
План цеху з електричними мережами



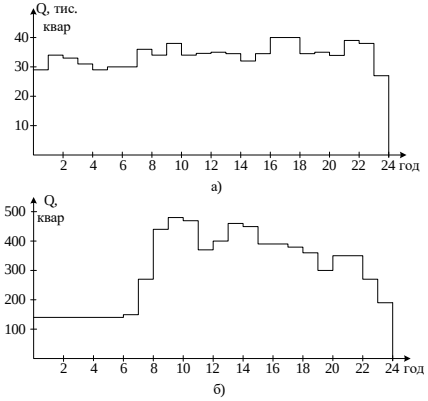
Поз.	Найменування	Кіл	Примітка
13	Змішувач №1	1	
14	Змішувач №2	1	
15	Насос №1	1	
16	Насос №2	1	
17	Водонагрівник подувочної води	1	
18	Котел водогрійний ванни емульсії	1	
19	Жиротопка №1	1	
20	Жиротопка №2	1	

Поз.	Найменування	Кіл	Примітка
1	Котел водогрійний технічної води	1	
2	Маслоутворювач	1	
3	Змішувач	1	
4	Машина фасовки масла	1	
5	Машина фасовки масла (брікети)	1	
6	Міксер - витримувач	1	
7	Насос маслообробний	1	
8	Котел водогрійний ваннни змішаня	1	
9	Ванна змішування. Змішувач	1	
10	Насос котла	1	
11	Насос котла градирні	1	
12	Котел електродний	1	

Додаток Г.
Розрахунково-монтажна таблиця електропостачання цеху



Додаток Д.
Компенсація реактивних навантажень в системах електропостачання



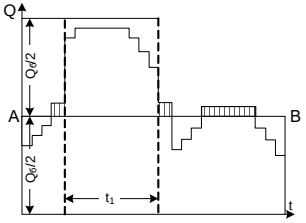
Добові графіки реактивної потужності підприємств:
а – чорної металургії;
б – машинобудування і металообробки

Технічні рішення, в умовах яких приймаються рішення з компенсації реактивної потужності

$$Q_{сум} - Q_{н.сум} - \Delta Q_{сум} + Q_{e1} = 0$$

$$Q_{min} \le Q \le Q_{max}$$

$$U_{min} \le U \le U_{max}$$



Приклад використання графіка реактивних навантажень для вирішення питання про поділ БСК на секції

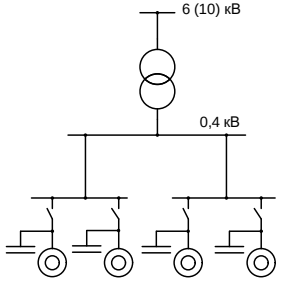


Схема під'єднання БСК при індивідуальній КРП

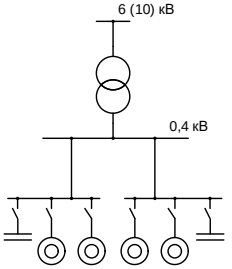


Схема під'єднання БСК при груповій КРП

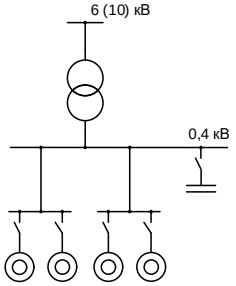


Схема під'єднання БСК при загальній КРП