

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного  
менеджменту

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_магістр\_\_\_\_\_  
(освітньо кваліфікаційний рівень)

на тему:

Оптимізація системи електропостачання Державного  
підприємства «45 Експериментальний механічний завод»,  
місто Вінниця

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕСЕ-19м  
141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_Сас В.М.\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_Терешкевич Л.Б.\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Сас В.М. ЕСЕ-19м Оптимізація системи електропостачання Державного підприємства «45 Експериментальний механічний завод», місто Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електротехнічні системи електроспоживання». – Вінниця, ВНТУ, 2020 – 98 с.

Іл.: 17.

Табл.: 18 .

Бібліогр.: 11 .

В магістерській кваліфікаційній роботі вирішено комплекс актуальних для ДП «45 Експериментальний механічний завод» науково-прикладних задач синтезу оптимальної схеми електропостачання підприємства (вибір оптимальних потужностей трансформаторних підстанцій, перерізів кабельних ліній живлення, оптимального місця установки ЦРП підприємства та оптимальних рішень з вибору потужностей БСК).

Виконані дослідження, які стосуються необхідності врахування відхилень напруги при прийнятті рішень про включення окремих секцій БСК, розроблена математична модель для прийняття рішення результати, що отримуються, демонструються на прикладі.

Отримані висновки підтверджуються розрахунками.

Ключові слова: Оптимальне рішення, математична модель, критерій ефективності, відхилення напруги.

## ANNOTATION

Sas VM ESE-19m Optimization of the power supply system of the State Enterprise "45 Experimental Mechanical Plant", Vinnytsia. Master's thesis in the specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", educational program - "Electrical power consumption systems". - Vinnytsia, VNTU, 2020 - 98 p.

Ill .:. 17

Table:.18

Bibliogr .11:.

The master's qualification work solved a set of relevant for SE "45 Experimental Mechanical Plant" scientific and applied problems of synthesis of the optimal power supply scheme of the enterprise (selection of optimal capacities of transformer substations, cross sections of cable power lines, optimal location of CRP enterprise and optimal solutions for capacity selection).

The performed researches concerning the necessity of taking into account voltage deviations when making decisions on inclusion of separate sections of BSC, the developed mathematical model for decision-making the received results are shown on an example.

The obtained conclusions are confirmed by calculations.

Keywords: Optimal solution, mathematical model, efficiency criterion, voltage deviation.

## ЗМІСТ

### ВСТУП

### РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Історична довідка та відомості про технологічні процеси

1.2 Відомості про електроприймачі та їх характеристика

### РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

ДП «45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД»

2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

2.2 Визначення кількості та оптимальної потужності цехових ТП

2.3 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах цехових ТП

2.4 Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

2.5 Розрахунок оптимального місця розташування ЦРП підприємства

2.6 Оптимальна компенсація реактивних навантажень підприємства

2.7 Висновки до розділу 2

### РОЗДІЛ 3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВРАХУВАННЯМ ФАКТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ

3.1 Вплив напруги на потужність БСК

3.1.1 Залежність потужності БСК від фактичної напруги

3.1.2 Дослідження умов доцільності врахування залежності  $Q_{\text{БСК}}(U)$

3.2 Математична модель, що враховує фактичний рівень напруги на затискачах БСК і алгоритм її аналізу

3.2.1 Складові взаємного впливу реактивної потужності та напруги

3.2.2 Математична модель та алгоритм її аналізу

3.2.3 Розрахунок тестової задачі

3.3 Висновки до розділу 3

### РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

4.1 Розрахунок чисельності обслуговуючого та ремонтного

персоналу

4.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

4.3 Розрахунок витрат підприємства на матеріали, що потрібні на всі види ремонтів та технічне обслуговування електрообладнання та електромереж

4.4 Визначення амортизаційних відрахувань та інших витрат

4.5 Розрахунок плати за електроенергію

4.6 Собівартість електроенергії

4.7 Висновки до розділу 4

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

5.2.2 Склад повітря робочої зони

5.2.3 Виробниче освітлення

5.2.4 Виробничий шум

5.2.5 Виробничі вібрації

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

5.4 Висновки до розділу 5

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Діюча система електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» прийнята в експлуатацію ще в середині минулого століття. Електрообладнання, що було встановлено відповідало електричним навантаженням, що формувалось технологічними процесами виробництва.

З того часу на частині території та виробничих приміщень підприємства створено нове виробництво «Електричні системи», змінилась номінклатура продукції, що виготовляється підприємством, суттєві зміни відбулись в технологіях виробництва та технологічному обладнанні. Але в діючій системі електропостачання до цього часу використовується морально застаріле електрообладнання, а технічні параметри електроапаратів, та електричних мереж в багатьох випадках не відповідають електричним навантаженням, та параметрам як нормальних, так і аварійних режимів. Для промислових мереж ДП «45 Експериментальний механічний завод», як і для багатьох інших виробництв, характерним є незадовільний стан якості електроенергії, в наслідок чого виникають збитки, різноманітної природи.

Тому для ДП «45 Експериментальний механічний завод» актуальною технічною задачею є оптимізація системи електропостачання шляхом вибору:

- оптимальної кількості та потужності трансформаторів,
- оптимальних перерізів провідників електричних мереж,
- оптимального розміщення трансформаторних підстанцій,
- оптимізуючих силових пристроїв.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.*

Робота виконувалася ВНТУ у рамках наукових досліджень, які проводяться на кафедрі ЕСЕМ

*Мета і завдання дослідження.* Метою роботи є оптимізація електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» шляхом прийняття оптимальних рішень з кількості та потужності трансформаторних

підстанцій, оптимальних перерізів ліній мереж підприємства, визначення оптимальних координат місця установки трансформаторних підстанцій та розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок, що дозволить привести у відповідність до сучасних вимог систему електропостачання підприємства, суттєво поліпшити її технічні та економічні характеристики функціонування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести автоматизовані розрахунки оптимальних потужностей трансформаторів цехових підстанцій;
- провести автоматизовані розрахунки оптимальних перерізів ліній електропередач заводських мереж;
- провести розрахунки оптимальних потужностей батарей статичних конденсаторів та положень регулювальних відгалужень трансформаторів.

*Об'єкт дослідження* – система електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод».

*Предмет дослідження* – елементи схеми та електричні режими в системі електропостачання.

*Наукова новизна одержаних результатів.*

Удосконалено електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» шляхом автоматизованого вибору оптимальних потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій, а також розрахунком оптимальних потужностей батарей статичних конденсаторів та прийняття оптимальних рішень з компенсації реактивної потужності.

*Практичне значення одержаних результатів* полягає в тому, що практична реалізація отриманих рішень дозволить оптимізувати електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод»: забезпечити відповідність характеристик елементів системи електропостачання нормальним та аварійним електричним режимам, зменшити втрати електроенергії, та поліпшити роботу БСК за рахунок прийняття рішень з компенсації реактивної потужності із

врахуванням реальних напруг в мережі.

*Достовірність теоретичних положень* магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів, строгим виведенням аналітичних співвідношень.

*Особистий внесок здобувача.* Усі наукові положення та результати магістерської кваліфікаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором одноособово.

*Апробація результатів роботи.* Результати роботи доповідались на обласних наукових конференціях в 2019 та 2020р., а тези доповідей опубліковані в матеріалах цих конференцій :

1. В. М. Сас, Л. Б. Терешкевич Дослідження умов доцільності врахування залежності потужності конденсаторної установки від напруги // XLVIII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2019) Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2019/paper/view/7280>

2. В. М. Сас Критерій ефективності для вирішення оптимізаційної задачі під'єднання однофазних електроприймачів до чотирипровідної мережі // XLIX Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2020) Режим доступу: <file:///C:/Users/MyPC/Downloads/10092-35972-1-PB.pdf>

*Обсяг і структура випускної кваліфікаційної роботи.* Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів, списку використаних джерел і додатків, загальний обсяг роботи 98 сторінок, з яких основний зміст викладений на 75 сторінках друкованого тексту, містить 17 рисунків, 18 таблиць, список використаних джерел із 11 найменувань.



## РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

### 1.1 Історична довідка та відомості про технологічні процеси

Вінницький 45 Експериментальний механічний завод – підприємство що входить до Державного концерну "Укроборонпром", з повним виробничим циклом виготовлення виробів і з великим об'ємом експериментальних і дослідних робіт.

Володіючи унікальним обладнанням (преси зусиллям до 2500 т., Верстати з ЧПУ та ін.), великою документально-технічною базою, підприємство приймає індивідуальні замовлення на виготовлення різних виробів по ескізам або кресленнями замовника з чорних та нержавіючих сталей, а також з кольорових металів.

З метою розширення ринків збуту завод налагоджує тісні взаємини з організаціями, які безпосередньо займаються продажем продукції машинобудівельного виробництва.

З недавнього часу ще одним пріоритетним напрямком діяльності ДП "45 ЕМЗ" є заготівля і переробка брухту чорних металів, а так само продаж виробів з металу.

### 1.2 Відомості про електроприймачі та їх характеристика

Переважає більшість виробничих цехів підприємства відноситься до другої категорії за надійністю електропостачання. Підприємство в цілому також відноситься до другої категорії.

Живлення підприємства може здійснюється від ТП "Північна" 110/10, що знаходиться на відстані 3,2 км від підприємства, на напрузі 10 кВ. Потужність короткого замикання на ТП «Північна» 50 МВА.

Енергопостачальною компанією визначено значення для вхідної реактивної потужності в години максимальних навантажень в енергосистемі 300 квар

Підприємство споживає електроенергію по тарифу першого класу – пряме включення від живлячого центру, тобто від підстанції «Північна» по стороні 10 кВ.

Інформація про електричні навантаження всіх об'єктів наведена в таблиці 1.1, а генплан підприємства на рис. 1.1.

Таблиця 1.1 – Відомості про основні виробничі об'єкти підприємства

№ на плані	Назва цеху	Рн, кВт
1	Відділи: технічний та виробничодиспетчерський Дільниця ковальсько-пресова	200
2	Заводоуправління	50
3	Відділення виготовлення деталей із гуми і пластмас	220
4	Компресорна	250
5	Цех №1	200
6	Цех №2	300
7	Склад металу	60
8	Відділення плазмового різання	120
9	Субабонент (об'єкт №1)	40
10	Субабонент (об'єкт №2)	50
11	Субабонент (об'єкт №3)	180
12	Субабонент (об'єкт №4)	120
13	Субабонент (об'єкт №5)	140
14	Субабонент (об'єкт №6)	180

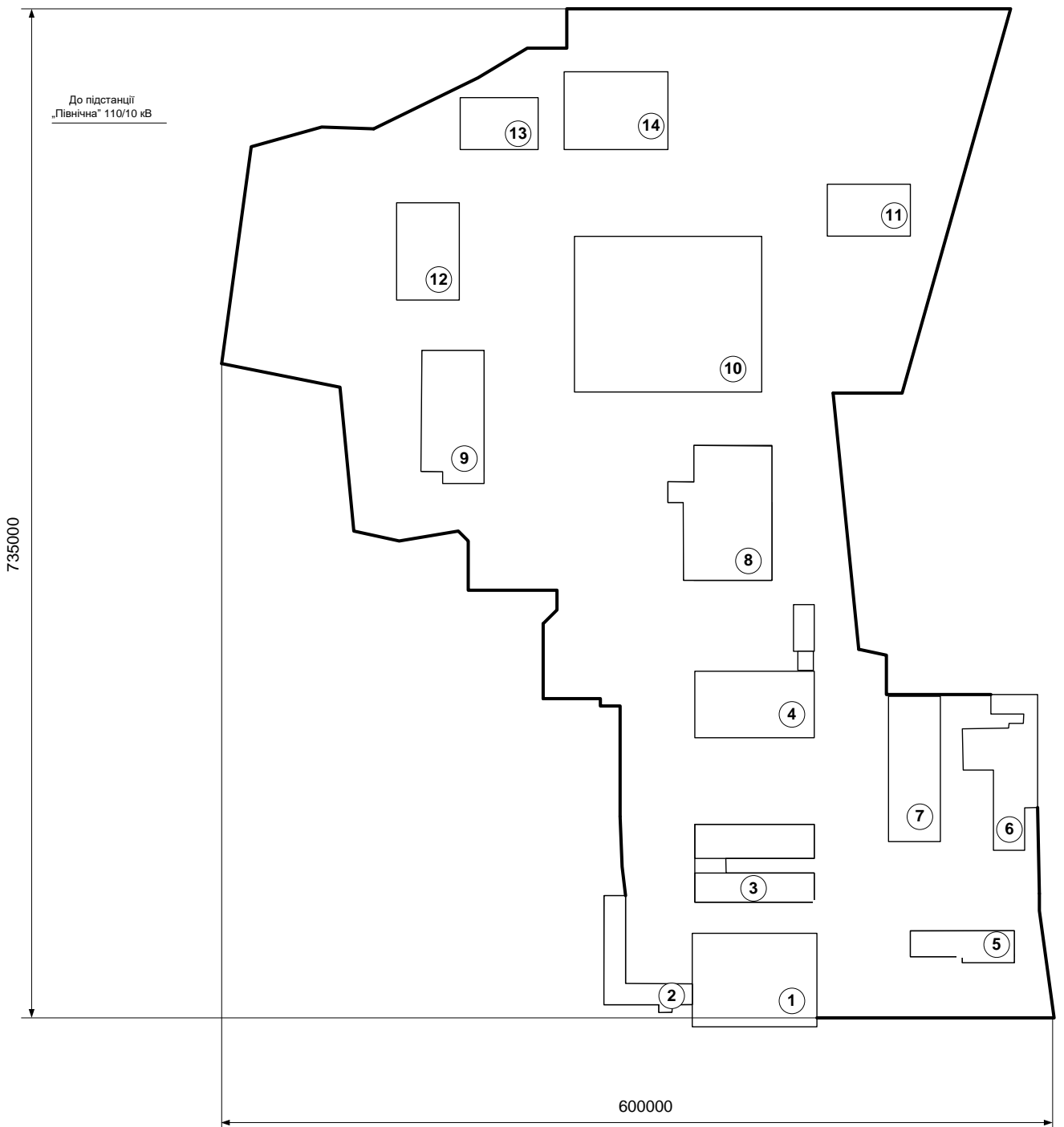


Рисунок 1.1 – Генплан ДП «45 Експериментальний механічний завод»

## РОЗДІЛ 2.

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ  
ДП «45 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕХАНІЧНИЙ ЗАВОД»

## 2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

Оптимізацію системи електропостачання можна виконати маючи інформацію про розрахункові навантаження всіх об'єктів підприємства та підприємства в цілому. Виконаємо необхідні розрахунки методом, рекомендованими для промислових об'єктів: методом коефіцієнту попиту [3].

За методом коефіцієнта попиту можна розрахувати розрахункові навантаження як силові, так і освітлювальні. Середні і розрахункові навантаження цехів і підприємства в цілому визначаються за допомогою формул, що наведені нижче.

Розрахункове активне навантаження освітлення і-того виробничого об'єкту:

$$P_{poi} = K_{noi} \cdot F_i \cdot p_{нми} \cdot K_{праi}, \quad (2.1)$$

де  $K_{poi}$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження і-того об'єкту;

$F_i$  – площа і-того об'єкту, м<sup>2</sup>;

$P_{нми}$  – питома густина освітлювального навантаження і-того об'єкту, кВт/м<sup>2</sup>;

$K_{праi}$  – коефіцієнт втрат в пуско-регулюючій апаратурі і-того об'єкту.

Розрахункове реактивне навантаження освітлення і-того об'єкту:

$$Q_{poi} = F_i \cdot K_{noi} \cdot p_{нми} \cdot K_{праi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{oi}, \quad (2.2)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_{oi}$  – коефіцієнт реактивної потужності освітлення і-того об'єкту.

Середнє активне навантаження і-того виробничого об'єкту:

$$P_{ci} = K_{ei} \cdot P_{номи} + P_{poi}, \quad (2.3)$$

де  $K_{ei}$  – коефіцієнт використання і-того об'єкту;

$P_{номи}$  – номінальна потужність і-того об'єкту, кВт.

Середнє реактивне навантаження і-того об'єкту:

$$Q_{ci} = P_{номі} \cdot K_{ei} \cdot tg\varphi_i + Q_{poi}, \quad (2.4)$$

де  $tg\varphi_i$  – коефіцієнт реактивної потужності і-того об'єкту.

Повне середнє навантаження і-того об'єкту:

$$S_{ci} = \sqrt{P_{ci}^2 + Q_{ci}^2}. \quad (2.5)$$

Активне розрахункове навантаження і-того об'єкту

$$P_{pi} = P_{ni} \cdot K_{ni} + P_{poi}, \quad (2.6)$$

де  $K_{ni}$  – коефіцієнт попиту і-того об'єкту.

Реактивне розрахункове навантаження і-того об'єкту:

$$Q_{pi} = P_{ni} \cdot K_{ni} \cdot tg\varphi_i + Q_{poi}. \quad (2.7)$$

Повне розрахункове навантаження і-того об'єкту:

$$S_{pi} = \sqrt{P_{pi}^2 + Q_{pi}^2}. \quad (2.8)$$

Розрахунковий струм і-того об'єкту:

$$I_{pi} = \frac{S_{pi}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (2.9)$$

де  $U_{ном}$  – номінальна напруга, кВ.

Навантаження всіх виробничих об'єктів:

$$P_{po\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{poi}; \quad (2.10)$$

$$Q_{po\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{poi}; \quad (2.11)$$

$$P_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N P_{ci}; \quad (2.12)$$

$$Q_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^N Q_{ci}; \quad (2.13)$$

$$P_{p\Sigma} = K_o \cdot \sum_{i=1}^N (P_{номі} \cdot K_{ni}) + P_{po\Sigma}; \quad (2.14)$$

$$Q_{p\Sigma} = K_o \cdot \sum_{i=1}^N (P_{номі} \cdot K_{ni} \cdot tg\varphi_i) + Q_{po\Sigma}, \quad (2.15)$$

де  $N$  – кількість об'єктів;

$K_0$  – коефіцієнт одночасності [3].

Повне сумарне навантаження:

$$S_{c\Sigma} = \sqrt{P_{c\Sigma}^2 + Q_{c\Sigma}^2}; \quad (2.16)$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2}. \quad (2.17)$$

Сумарний струм:

$$I_{p\Sigma} = \frac{S_{p\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (2.18)$$

Питома густина навантаження  $i$ -того об'єкту:

$$\rho_i = \frac{S_{pi}}{F_i}. \quad (2.19)$$

Питома густина навантаження підприємства в цілому:

$$\rho_\Sigma = \frac{S_{p\Sigma}}{F_\Sigma}. \quad (2.20)$$

Результати такого розрахунку наведені в електронній таблиці (рисунок 2.1).

## 2.2 Визначення кількості та оптимальної потужності цехових ТП

Вибір трансформаторів ТП необхідно виконувати дотримуючись таких вимог:

- показником ефективності вибору трансформаторів ТП повинні бути річні приведені затрати на підстанцію;
- кількість стандартних потужностей трансформаторів ТП на підприємстві не повинна перевищувати дві ( максимум 3).

		U= 0,38					Ko= 0,95														
№	Найменування цехів	Дані сили					Світло							Середні навантаження			Розрах. Нав.				P кВА/м <sup>2</sup>
		Rn кВт	cos	tg	Kп	Кв	Площа м <sup>2</sup>	Kco	Rпиг кВт/м <sup>2</sup>	Kпра	tgφ0	Qмо квар	Ppo кВт	Pc кВт	Qc квар	Sc кВА	Pp кВт	Qp квар	Sp кВА	Ip, A	
1	Відділ: технічний та виробничодиспетчерський Дільниця ковальсько-пресова	200	0,7	1,02	0,7	0,2	200,00	0,80	0,016	1,20	0,48	1,47	3,07	43,07	42,28	60,36	143,07	144,30	203,21	308,74	1,016
2	Заводоуправління	50	0,65	1,17	0,8	0,4	101,00	0,85	0,015	1,10	0,48	0,68	1,42	21,42	24,06	32,21	41,42	47,45	62,98	95,69	0,6236
3	Відділення виготовлення деталей із гуми і пластмас	220	0,8	0,75	0,9	0,5	100,00	0,80	0,016	1,10	0,48	0,68	1,41	111,41	83,18	139,03	199,41	149,18	249,03	378,37	2,4903
4	Компресорна	250	0,9	0,48	0,6	0,35	120,00	0,85	0,015	1,10	0,48	0,81	1,68	89,18	43,19	99,09	151,68	73,46	168,53	256,06	1,4044
5	Цех №1	200	0,8	0,75	0,8	0,55	850,00	0,85	0,017	1,10	0,48	6,49	13,51	123,51	88,99	152,23	173,51	126,49	214,72	326,23	0,2526
6	Цех №2	300	0,85	0,62	0,8	0,5	304,00	0,70	0,018	1,10	0,48	2,02	4,21	154,21	94,98	181,12	244,21	150,76	287,00	436,05	0,9441
7	Склад металу	60	0,8	0,75	0,7	0,45	206,00	0,90	0,017	1,10	0,48	1,66	3,47	30,47	21,91	37,53	45,47	33,16	56,28	85,50	0,2732
8	Відділення плазмового	120	0,8	0,75	0,6	0,7	705,00	0,80	0,019	1,10	0,48	5,66	11,79	95,79	68,66	117,85	83,79	59,66	102,86	156,27	0,1459
9	Субабон (об'єкт №1)	40	0,7	1,02	0,6	0,3	300,00	0,85	0,017	1,10	0,48	2,29	4,77	16,77	14,53	22,19	28,77	26,77	39,30	59,71	0,131
10	Субабон (об'єкт №2)	50	0,85	0,62	0,9	0,55	400,00	0,85	0,030	1,10	0,48	5,39	11,22	38,72	22,43	44,75	56,22	33,27	65,33	99,26	0,1633
11	Субабон (об'єкт №3)	180	0,8	0,75	0,7	0,45	524,00	0,90	0,019	1,10	0,48	4,73	9,86	90,86	65,48	111,99	135,86	99,23	168,24	255,61	0,3211
12	Субабон (об'єкт №4)	120	0,8	0,75	0,8	0,2	415,00	0,85	0,024	1,20	0,48	4,88	10,16	34,16	22,88	41,11	106,16	76,88	131,07	199,14	0,3158
13	Субабон (об'єкт №5)	140	0,85	0,62	0,9	0,50	200,00	0,80	0,040	1,10	0,48	3,38	7,04	77,04	46,76	90,12	133,04	81,47	156,00	237,02	0,78
14	Субабон (об'єкт №6)	180	0,8	0,75	0,7	0,25	222,00	0,80	0,012	1,10	0,48	1,13	2,34	47,34	34,88	58,80	128,34	95,63	160,05	243,17	0,721
15	Всього по підприємству	2110				0,42	4647,00					41,25	85,95	973,95	674,20	1184,53	1591,70	1139,87	1957,76	2974,50	0,4213

Рисунок 2.1 – Розрахунок навантажень підприємства

Вибір трансформаторів слід проводити, визначивши попередньо питому густиною навантаження. У разі якщо питома густина навантаження до  $0,2 \text{ кВА/м}^2$  [1] слід вибирати трансформатори потужність до 1000 кВА, якщо  $0,2-0,3 \text{ кВА/м}^2$  – вибираються трансформатори потужністю 1600 кВА, а при густині більше  $0,3 \text{ кВА/м}^2$  – 2500 кВА.

У відповідності до отриманих результатів розрахунку навантажень розподіл проводимо для трьох двотрансформаторних підстанцій з потужністю трансформаторів 630 кВА. Виконаємо це, створивши табличну форму розрахунку навантаження кожної ТП (рисунок 2.2).

Вибір оптимальної потужності ТП можна виконати за математичною моделлю вибору, в якій керованою змінною є потужність трансформаторів –  $S_T$ . Керовані змінні – всі стандартні потужності трансформаторів  $S_T$ .

Критерій ефективності моделі – річні приведені затрати, які залежать від керованої змінної.

$$Z(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{ТП}(S_T, k_T) + \left[ \Delta P_{xx}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{кз}(S_T) \cdot \frac{S_{ТП}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{СТ}} \quad (2.21)$$

Оптимальний розв'язок шукається в умовах таких обмежень:

$$\begin{aligned} S_T \cdot k_T \cdot k_H &\geq S_{ТП\text{см}} \\ k_T > 1 &\Rightarrow S_T \cdot k_{па} \geq S_{ТПр} \cdot k_{ппа}, \\ S_T &\in S_{СТ} \end{aligned} \quad (2.22)$$

де  $S_{СТ}$  – множина стандартних потужностей трансформаторів;

$E_a$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$E_e$  – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$k_{ТП}(S_T, k_T)$  – капіталовкладення в трансформаторну підстанцію, який залежить від потужності та кількості вибраних трансформаторів;

$S_{ТП\text{см}}$  – середня потужність трансформаторної підстанції;

$S_{ТПр}$  – розрахункова потужність трансформаторної підстанції;



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		№ ТП	Номер цеху	Розрахункова активна потужність $P_p$ , кВт	Розрахункова реактивна потужність $Q_p$ , квар	Повна розрахункова потужність $S_p$ , кВА	Середня активна потужність $P_c$ , кВт	Середня реактивна потужність $Q_c$ , квар	Повна середня потужність $S_c$ , кВА	Кількість трансформаторів в ТП
3		ТП1	9	28,77	26,77	39,30	16,77	14,53	22,19	2
4			10	56,22	33,27	65,33	38,72	22,43	44,75	
5			11	135,86	99,23	168,24	90,86	65,48	111,99	
6			12	106,16	76,88	131,07	34,16	22,88	41,11	
7			13	133,04	81,47	156,00	77,04	46,76	90,12	
8			14	128,34	95,63	160,05	47,34	34,88	58,80	
9			Всього по ТП1		588,39	413,25	719,01	304,89	206,95	
10		ТП2	1	143,07	144,30	203,21	43,07	42,28	60,36	2
11			2	41,42	47,45	62,98	21,42	24,06	32,21	
12			3	199,41	149,18	249,03	111,41	83,18	139,03	
13			4	151,68	73,46	168,53	89,18	43,19	99,09	
14			Всього по ТП2		535,58	414,38	677,17	265,08	192,71	
15		ТП3	5	173,51	126,49	214,72	123,51	88,99	152,23	2
16			6	244,21	150,76	287,00	154,21	94,98	181,12	
17			7	45,47	33,16	56,28	30,47	21,91	37,53	
18			8	83,79	59,66	102,86	95,79	68,66	117,85	
19		Всього по ТП3		546,98	370,07	660,41	403,98	274,54	488,44	

Рисунок 2.2 – Розподіл навантаження між ТП

$\Delta P_{xx}(S_T)$  – активні втрати холостого ходу в трансформаторі;

$\Delta P_{кз}(S_T)$  – втрати короткого замикання в трансформаторі потужністю  $S_T$ ;

$k_T$  - кількість трансформаторів;

$k_n$  - мах допустимий коефіцієнт навантаження трансформатора в н. р.;

$k_{па}$  - мах допустимий коефіцієнт навантаження трансформатора в п.а. р.;

$k_{нна}$  - частина навантаження ТП, яка повинна залишитися в роботі в після аварійному режимі (погоджується з технологами);

$S_T$  - потужність трансформатора ТП;

$t$  – тариф на електроенергію;

$\tau$  - число годин максимальних втрат.

Оскільки значення коефіцієнтів  $k_n$  та  $k_{па}$  використовуються в наведеній математичній моделі для перевірки допустимості значень керованих змінних, то виконаємо їх розрахунок.

Із з Додатку Н визначаємо [5] коефіцієнт ПА режиму, що становить  $k_{па}=1,3$ .

Результати, що отримані, представлені на рисунку 2.3 в електронній таблиці вибору потужності ТП1, на рисунку 2.4 ТП2, а на рисунку 2.5 ТП3.

Для всіх ТП підприємства оптимальним є рішення установки трансформаторів потужністю 630 кВА.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
2	Економічні характеристики														
3	Питома вартість втрат, грн/кВт											Bo =	560,895		
4	Коефіцієнт ефективності капітовкладень											Ee =	0,1		
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію											Ea =	0,036		
6	ТП1														
7	Дані нормального режиму														
8	Розрахункова потужність ТП, кВА											Sp=	719,01		
9	Середня потужність ТП, кВА											Sc=	368,49		
10	Кількість трансформаторів											кт=	2		
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі											Kn=	1		
12	Дані післяаварійного режиму														
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі											Kпа =	1,3		
14	Доля навантаження в післяаварійному режимі											Kнпа =	0,8		
15															
16	*	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРэм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кт*кн*St >=Sc	кпа*St>= кнпа*Sp	*
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	83,36199	0,48	83,84199	47,02655		-	-	-	
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	50,922	0,66	51,582	28,93208		-	-	-	
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	31,3012	1,02	32,3212	18,1288		-	-	-	
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	17,37035	1,48	18,85035	10,57306		-	+	-	
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	9,531719	1,9	11,43172	6,411994		-	+	-	
22	V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	5,535757	2,62	8,155757	4,574523	26,2706	630	+	+	V
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,714117	4,2	6,914117	3,878093	29,47737	1000	+	+	
24		1600	18	2,8	234	31,824	1,817489	5,6	7,417489	4,160432	35,98443	1600	+	+	
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,971912	7,7	8,671912	4,864032	41,27531	2500	+	+	
26															
27	Мінімальні затрати, грн											Zmin=	26,2706		
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА											St*=	630		
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора											кз*=	0,570642		

Рисунок 2.3 – Результати розрахунку оптимальної потужності трансформаторівТП1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
2	Економічні характеристики														
3	Питома вартість втрат, грн/кВт											Bo =	560,895		
4	Коефіцієнт ефективності капітоловкладень											Ee =	0,1		
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію											Ea =	0,036		
6	ТП2														
7	Дані нормального режиму														
8	Розрахункова потужність ТП, кВА											Sp=	677,17		
9	Середня потужність ТП, кВА											Sc=	327,72		
10	Кількість трансформаторів											кТ=	2		
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі											кн=	1		
12	Дані післяаварійного режиму														
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі											кпа =	1,3		
14	Доля навантаження в післяаварійному режимі											кпап =	0,8		
15															
16	*	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кТ*кн*St >=Sc	кпа*St>= кпап*Sp	*
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	73,94208	0,48	74,42208	41,74297	-	-	-	-	
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	45,16781	0,66	45,82781	25,70459	-	-	-	-	
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	27,76416	1,02	28,78416	16,14489	-	-	-	-	
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	15,4075	1,48	16,8875	9,472112	-	+	-	-	
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	8,454634	1,9	10,35463	5,807862	-	+	-	-	
22	V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	4,910216	2,62	7,530216	4,223661	25,91974	630	+	+	V
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,407421	4,2	6,607421	3,706069	29,30535	1000	+	+	
24		1600	18	2,8	234	31,824	1,612112	5,6	7,212112	4,045238	35,86924	1600	+	+	
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,862086	7,7	8,562086	4,802431	41,21371	2500	+	+	
26															
27	Мінімальні затрати, грн											Зmin=	25,91974		
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА											St*=	630		
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора											кз*=	0,537435		

Рисунок 2.4 – Результати розрахунку оптимальної потужності трансформаторів ТП2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
2	Економічні характеристики														
3	Питома вартість втрат, грн/кВт											Bo =	560,895		
4	Коефіцієнт ефективності капітоловкладень											Ee =	0,1		
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію											Ea =	0,036		
6	ТПЗ														
7	Дані нормального режиму														
8	Розрахункова потужність ТП, кВА											Sp=	660,41		
9	Середня потужність ТП, кВА											Sc=	488,44		
10	Кількість трансформаторів											кт=	2		
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі											Kn=	1		
12	Дані післяаварійного режиму														
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі											Kпа =	1,3		
14	Доля навантаження в післяаварійному режимі											Kппа =	0,8		
15															
16	*	St кВА	ΔPкз кВт	ΔPxx кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔPзм кВт	ΔPпс кВт	ΔP кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	Х	кт*kn*St >=Sc	kпа*St >= kппа*Sp	*
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	70,32686	0,48	70,80686	39,71522		-	-	-	
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	42,95944	0,66	43,61944	24,46593		-	-	-	
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	26,4067	1,02	27,4267	15,3835		-	-	-	
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	14,65418	1,48	16,13418	9,049583		-	+	-	
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	8,041265	1,9	9,941265	5,576006		-	+	-	
22	V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	4,670143	2,62	7,290143	4,089005	25,78508	630	+	+	V
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,289716	4,2	6,489716	3,640049	29,23933	1000	+	+	
24		1600	18	2,8	234	31,824	1,533292	5,6	7,133292	4,001028	35,82503	1600	+	+	
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,819936	7,7	8,519936	4,77879	41,19007	2500	+	+	
26															
27	Мінімальні затрати, грн											Зmin=	25,78508		
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА											St*=	630		
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора											кз*=	0,524132		

Рисунок 2.5 – Результати розрахунку оптимальної потужності трансформаторів ТПЗ

### 2.3 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах цехових ТП

Вибір зовнішньої лінії живлення потрібно виконувати із врахуванням втрат потужності в трансформаторах ТП, які можна визначити аналітично. Таблична форма результатів розрахунку втрат потужності в трансформаторах ЦТП представлена на рисунку 2.6.

Розрахунок втрати активної потужності можна виконати за формулою:

$$\Delta P_{TP} = n \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{ном.тр}} \right)^2, \quad (2.23)$$

де  $\Delta P_{TP}$  - втрати активної потужності ТП, кВт;

$n$  - кількість трансформаторів на ТП;

$\Delta P_{xx}$  - втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{кз}$  - втрати короткого замикання трансформатора, кВт;

$S_p$  - повне розрахункове навантаження на ТП, кВА;

$S_{ном.тр}$  - номінальна потужність трансформатора ТП.

Втрати реактивної потужності визначаються так [5]:

$$\Delta Q_{TP} = n \cdot \frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{ном.тр} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_p^2}{S_{ном.тр}}, \quad (2.24)$$

де  $\Delta Q_{TP}$  - втрати реактивної потужності ТП, квар;

$I_{xx}$  - струм холостого ходу трансформатора, А;

$U_{кз}$  - напруга короткого замикання, % від номінальної.

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1											
2	$\Delta P_{кз},$ кВт	$I_{xx},$ %	$U_{кз},$ %	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$\Delta P_{тр},$ кВт	$\Delta Q_{тр},$ квар	$\Delta S_{тр},$ кВА	$P,$ кВт	$Q,$ квар
3	8,5	2	5,5	588,3885	413,2476	719,0095	8,155757	47,76635	48,45762	596,5442	461,014
4	8,5	2	5,5	535,5795	414,3802	677,1679	7,530216	45,21635	45,83909	543,1097	459,5966
5	8,5	2	5,5	546,9788	370,0685	660,4063	7,290143	44,2377	44,83437	554,2689	414,3062
6				1670,947	1197,696		22,97612	137,2204	139,1307	1693,923	1334,917

Рисунок 2.6 – Результати розрахунку втрат потужності в трансформаторах ТП

## 2.4 Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

ПАТ «45 ЕМЗ» за надійністю електропостачання відноситься до 2-ої категорії споживачів. Підприємство розташовано в оточенні житлових будинків міста Вінниця, що не дозволяє вибрати для живлення повітряну лінією. Тому для зовнішнього електропостачання заводу виберемо двокабельну лінію напругою 10 кВ від підстанції 110/10 кВ «Північна». Перерізи живильних кабелів необхідно вибирати по загальній потужності виробництва.

Цехові трансформаторні підстанції живляться від ЦРП підприємства кабельними лініями за радіальною схемою. Переріз кожної повинен вибиратись по потужності цехової підстанції, що живиться цією лінією.

Критеріальна функція математичної моделі вибору оптимальних перерізів кабельних ліній 10кВ описує річні приведені затрати.

Керована змінна моделі: переріз кабельних ліній ( $\text{мм}^2$ ).

Множина, що формується обмеженнями математичної моделі: множина всіх стандартних перерізів кабельних ліній 10 кВ.

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x) = \left[ (E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_l^2 \cdot r_0(x) \cdot t \cdot \tau \right] \cdot L \cdot k_l \rightarrow \min_{x \in X_{cm}} \\ x \geq x_{\text{дон}} \equiv k_{\text{дон}} \cdot I_{\text{дон}}(x) \geq I_l \\ x \geq x_{\text{дон}} \equiv k_{\text{на}} \cdot I_{\text{дон}}(x) \geq I_l \cdot k_l \cdot k_{\text{нна}} \\ \Delta U_H(x) \leq \Delta U_{\text{дон}} \\ \Delta U_{\text{на}}(x) \leq \Delta U_{\text{дон}} \\ x \geq x_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{кз}} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \\ x \in X_{cm} \end{array} \right. \quad (2.25)$$

де  $B_B(x)$  - річна вартість втрат електричної енергії в кабельних лініях перерізом  $X$ ;

$B_{\text{кл}}(x)$  - витрати в кабельних ліній перерізом  $X$  приведені до експлуатаційних;

$k_0(x)$  – питома вартість кабельних ліній;

$I_{\text{доп}}(x)$  – допустимий струм за ПУЕ по перерізу [3];

$I_{\text{л}}$  – струм однієї лінії;

$K_{\text{доп}}(x)$  - коефіцієнт допустимого навантаження [3];

$\Delta U_{\text{на}}(x)$  – втрати напруги в лінії перерізом  $x$  в після аварійному режимі;

$\Delta U_{\text{н}}(x)$  – втрати напруги в лінії в нормальному режимі роботи;

$\Delta U_{\text{доп}}$  – допустимі втрати напруги [8];

$k_{\text{с}}$  – коефіцієнт середовища;

$k_{\text{доп}}$  – коефіцієнт допустимого навантаження,  $k_{\text{доп}} = k_{\text{п}} \cdot k_{\text{с}}$ ;

$k_{\text{на}}$  – максимальний допустимий коефіцієнт навантаження кабельних ліній;

$k_{\text{п}}$  – коефіцієнт прокладки;

$x_{\text{кз}}$  – мінімальний переріз лінії за умов термічної дії струмів к. з.;

$t_{\text{н}}$  – приведений час к. з. (с)  $\approx 1,5\text{с}$ ;

$I_{\text{кз}}$  – струм к. з. на початку лінії;

$C$  – тепловий коефіцієнт  $\frac{A \cdot \sqrt{c}}{\text{мм}^2}$  [6].

В створених електронних таблицях (рисунок 2.7–2.10) подані стандартні перерізи кабельних ліній, допустимі струми, опори та вартість кабельних ліній, що залежать від її перерізу, а також будуть розраховані річні приведені затрати в зовнішню лінію живлення. Тут же наведені результати розрахунків оптимальних перерізів кабельних ліній 10 кВ.

## 2.5 Розрахунок оптимального місця розташування ЦРП підприємства

Оптимальним місцем розташування ЦРП будемо вважати теке, якому відповідають мінімальні втрати активної потужності в розподільних мережах 10 кВ підприємства у разі установки саме там ЦРП підприємства. Для визначення таких координатів на плані підприємства будується картограма навантажень і розраховується центр навантажень. При побудові



картограми електричних навантажень на площі окремих виробничих об'єктів на генплані підприємства наносяться навантаження підрозділів за характером (силове, освітлювальне) у вигляді кіл, радіус яких визначається за формулою [2]:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi m}}, \quad (2.26)$$

де-  $m$ - масштаб картограми навантажень,  $\frac{\text{кВт}}{\text{мм}^2}$ ,  $m=0,05$ ;

$\pi=3,14$ .

Вибір оптимального перерізу зовнішньої живлячої КЛ																			
Економічні характеристики																			
3	Питома вартість втрат, грн/кВт														Bo=	560,895			
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень														Ee=	0,1			
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію														Ea=	0,04			
Дані нормального режиму																			
7	Напруга, кВ														U =	10			
8	Активна розрахункова потужність споживача, кВт														P =	1693,9229			
9	Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр														Q =	1334,9167			
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А														Ip =	62,26			
11	Коефіцієнт допустимого навантаження														Kдоп =	1,00			
12	Допустима втрата напруги в КЛ, %														dUдоп =	5			
13	Кількість кабелів														k =	2			
14	Довжина лінії, км														L =	3,2			
Дані аварійного режиму																			
16	Струм КЗ на початку лінії, кА														Iкз =	3,0386856			
17	Приведений час КЗ, с														tn =	1,5			
18	Тепловий коефіцієнт C, (A*c^(1/2))/мм^2														C =	90			
19	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2														Fкз =	41,35			
21	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі														Kпа =	1,25			
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі														Kнпа =	0,8			
23	Допустима втрата напруги в КЛ, %														dUадоп =	5			
Таблиця вибору перерізу кабелю																			
	F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	K0, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUna, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	n*Iдоп >= Kнпа*k*	dUn <= dUдоп	dUna <= dUадоп	F >= Fкз	
26	10	3,1	0,122	9,5381	65	8,66	13,86	230,71	61,04	8,55	129,40	-	-----	+	-	-	-	-	
27	16	1,94	0,113	13,784	75	5,50	8,80	144,38	88,22	12,35	80,98	-	-----	+	-	-	-	-	
28	25	1,24	0,099	19,854	90	3,57	5,72	92,28	127,07	17,79	51,76	-	-----	+	+	+	-	-	
29	35	0,89	0,095	25,953	115	2,62	4,18	66,24	166,10	23,25	37,15	-	-----	+	+	+	+	-	
30	v 50	0,62	0,09	36,927	140	1,87	3,00	46,14	236,33	33,09	25,88	58,97	50	+	+	+	+	+	
31	70	0,443	0,086	50,501	165	1,38	2,21	32,97	323,21	45,25	18,49	63,74	70	+	+	+	+	+	
32	95	0,326	0,083	65,451	205	1,06	1,70	24,26	418,89	58,64	13,61	72,25	95	+	+	+	+	+	
33	120	0,258	0,081	82,823	240	0,87	1,40	19,20	530,07	74,21	10,77	84,98	120	+	+	+	+	+	
34	150	0,206	0,079	102,11	275	0,73	1,16	15,33	653,50	91,49	8,60	100,09	150	+	+	+	+	+	
35	185	0,167	0,077	137,48	310	0,62	0,99	12,43	879,87	123,18	6,97	130,15	185	+	+	+	+	+	
36	Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	58,97							
37	Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Хопт	50							

Рисунок 2.7 – Результати розрахунку оптимального перерізу КЛ – 10 кВ від ТП «Північна» до ЦРП

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Вибір оптимального перерізу КЛ1																	
2	Економічні характеристики																	
3	Питома вартість втрат, грн/кВт															Bo=	560,895	
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень															Ee=	0,1	
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію															Ea=	0,04	
6	Дані нормального режиму																	
7	Напруга, кВ															U =	10	
8	Активна розрахункова потужність споживача, кВт															P =	596,54422	
9	Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр															Q =	461,01399	
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А															Ip =	21,76	
11	Коефіцієнт допустимого навантаження															Kдоп =	0,92	
12	Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUдоп =	5	
13	Кількість кабелів															k =	2	
14	Довжина лінії, км															L =	0,5	
15	Дані аварійного режиму																	
16	Струм КЗ на початку лінії, кА															Iкз =	2,0017765	
17	Приведений час КЗ, с															tn =	1,5	
18	Тепловий коефіцієнт C, (A*s^(1/2))/мм^2															C =	90	
19	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2															Fкз =	27,24	
20																		
21	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =	1,2	
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі															Kпадоп =	0,8	
23	Допустима втрата напруги в КЛ, %															dUпадоп =	5	
24																		
25	F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	KO, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUna, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	Kпа*K* >= Ip	dUn <= dUндоп	dUna <= dUпадоп	F >= Fкз
26	10	3,1	0,122	9,5381	65	0,48	0,76	4,41	9,54	1,34	2,47	-	-----	+	+	+	+	-
27	16	1,94	0,113	13,784	75	0,30	0,48	2,76	13,78	1,93	1,55	-	-----	+	+	+	+	-
28	25	1,24	0,099	19,854	90	0,20	0,31	1,76	19,85	2,78	0,99	-	-----	+	+	+	+	-
29	v 35	0,89	0,095	25,953	115	0,14	0,23	1,26	25,95	3,63	0,71	4,34	35	+	+	+	+	+
30	50	0,62	0,09	36,927	140	0,10	0,16	0,88	36,93	5,17	0,49	5,66	50	+	+	+	+	+
31	70	0,443	0,086	50,501	165	0,08	0,12	0,63	50,50	7,07	0,35	7,42	70	+	+	+	+	+
32	95	0,326	0,083	65,451	205	0,06	0,09	0,46	65,45	9,16	0,26	9,42	95	+	+	+	+	+
33	120	0,258	0,081	82,823	240	0,05	0,08	0,37	82,82	11,60	0,21	11,80	120	+	+	+	+	+
34	150	0,206	0,079	102,11	275	0,04	0,06	0,29	102,11	14,30	0,16	14,46	150	+	+	+	+	+
35	185	0,167	0,077	137,48	310	0,03	0,05	0,24	137,48	19,25	0,13	19,38	185	+	+	+	+	+
36	Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	4,34						
37	Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Хопт	35						

Рисунок 2.8 – Результати розрахунку оптимального перерізу КЛ – 10 кВ від ЦРП до ТП1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Вибір оптимального перерізу КЛ2																		
2	Економічні характеристики																		
3	Питома вартість втрат, грн/кВт																Bo=	560,895	
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень																Ee=	0,1	
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію																Ea=	0,04	
6	Дані нормального режиму																		
7	Напруга, кВ																U =	10	
8	Активна розрахункова потужність споживача, кВт																P =	543,1097	
9	Реактивна розрахункова опухність споживача, кВАр																Q =	459,5966	
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А																Ip =	20,54	
11	Коефіцієнт допустимого навантаження																Kдоп =	0,92	
12	Допустима втрата напруги в КЛ, %																dUдоп =	5	
13	Кількість кабелів																k =	2	
14	Довжина лінії, км																L =	0,5	
15	Дані аварійного режиму																		
16	Струм КЗ на початку лінії, кА																Iкз =	1,902689	
17	Приведений час КЗ, с																tn =	1,5	
18	Тепловий коефіцієнт C, (А°с^(1/2))/мм²																C =	90	
19	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм²																Fкз =	25,89	
20																			
21	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі																Kпа =	1,25	
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі																Kнпа =	0,8	
23	Допустима втрата напруги в КЛ, %																dUпадоп =	5	
24																			
25	F, мм²	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	K <sub>0</sub> , т.грн/км	I <sub>доп</sub> , А	dU <sub>n</sub> , %	dU <sub>па</sub> , %	dP, кВт	K, т.грн	E*К, т.грн	В <sub>в</sub> , т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*I <sub>d</sub> оп >= I <sub>p</sub>	Kпа*Kдоп n*Iдоп >= Kнпа*k*I <sub>p</sub>	dU <sub>n</sub> <= dU <sub>nдоп</sub>	dU <sub>па</sub> <= dU <sub>падоп</sub>	F >= Fкз	
26	10	3,1	0,122	9,5381	65	0,43	0,70	3,92	9,54	1,34	2,20	-	-----	+	+	+	+	-	
27	16	1,94	0,113	13,784	75	0,28	0,44	2,46	13,78	1,93	1,38	-	-----	+	+	+	+	-	
28	25	1,24	0,099	19,854	90	0,18	0,29	1,57	19,85	2,78	0,88	-	-----	+	+	+	+	-	
29	v	35	0,89	0,095	25,953	115	0,13	0,21	1,13	25,95	3,63	0,63	4,27	35	+	+	+	+	
30		50	0,62	0,09	36,927	140	0,09	0,15	0,78	36,93	5,17	0,44	5,61	50	+	+	+	+	
31		70	0,443	0,086	50,501	165	0,07	0,11	0,56	50,50	7,07	0,31	7,38	70	+	+	+	+	
32		95	0,326	0,083	65,451	205	0,05	0,09	0,41	65,45	9,16	0,23	9,39	95	+	+	+	+	
33		120	0,258	0,081	82,823	240	0,04	0,07	0,33	82,82	11,60	0,18	11,78	120	+	+	+	+	
34		150	0,206	0,079	102,11	275	0,04	0,06	0,26	102,11	14,30	0,15	14,44	150	+	+	+	+	
35		185	0,167	0,077	137,48	310	0,03	0,05	0,21	137,48	19,25	0,12	19,37	185	+	+	+	+	
36	Мінімальні затрати, тис.грн											Змін	4,27						
37	Оптимальний переріз КЛ, мм²											Xопт	35						

Рисунок 2.9 – Результати розрахунку оптимального перерізу КЛ – 10 кВ від ЦРП до ТП2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Вибір оптимального перерізу КЛЗ																		
2	Економічні характеристики																		
3	Питома вартість втрат, грн/кВт																Bo=	560,895	
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень																Be=	0,1	
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію																Ea=	0,04	
6	Дані нормального режиму																		
7	Напруга, кВ																U =	10	
8	Активна розрахункова потужність споживача, кВт																P =	554,26891	
9	Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр																Q =	414,30615	
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А																Ip =	19,98	
11	Коефіцієнт допустимого навантаження																Kдоп =	0,92	
12	Допустима втрата напруги в КЛ, %																dUдоп =	5	
13	Кількість кабелів																k =	2	
14	Довжина лінії, км																L =	0,5	
15	Дані аварійного режиму																		
16	Струм КЗ на початку лінії, кА																Iкз =	1,9026887	
17	Приведений час КЗ, с																tn =	1,5	
18	Тепловий коефіцієнт C, (А*с <sup>1/2</sup> )/мм <sup>2</sup>																C =	90	
19	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм <sup>2</sup>																Fкз =	25,89	
20																			
21	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі																Kпа =	1,25	
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі																Kнпа =	0,8	
23	Допустима втрата напруги в КЛ, %																dUпадоп =	5	
24																			
25	F, мм <sup>2</sup>	R <sub>0</sub> , Ом/км	X <sub>0</sub> , Ом/км	K <sub>0</sub> , т.грн/км	I <sub>доп</sub> , А	dU <sub>n</sub> , %	dU <sub>па</sub> , %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп n >= Ip	Kпа*Kдоп n*Iдоп >= p	dU <sub>n</sub> <=	dU <sub>па</sub> <=	F >= Fкз	
26	10	3,1	0,122	9,5381	65	0,44	0,71	3,71	9,54	1,34	2,08	-	-----	+	+	+	+	-	
27	16	1,94	0,113	13,784	75	0,28	0,45	2,32	13,78	1,93	1,30	-	-----	+	+	+	+	-	
28	25	1,24	0,099	19,854	90	0,18	0,29	1,48	19,85	2,78	0,83	-	-----	+	+	+	+	-	
29	v	35	0,89	0,095	25,953	115	0,13	0,21	1,07	25,95	3,63	0,60	4,23	35	+	+	+	+	
30		50	0,62	0,09	36,927	140	0,10	0,15	0,74	36,93	5,17	0,42	5,59	50	+	+	+	+	
31		70	0,443	0,086	50,501	165	0,07	0,11	0,53	50,50	7,07	0,30	7,37	70	+	+	+	+	
32		95	0,326	0,083	65,451	205	0,05	0,09	0,39	65,45	9,16	0,22	9,38	95	+	+	+	+	
33		120	0,258	0,081	82,823	240	0,04	0,07	0,31	82,82	11,60	0,17	11,77	120	+	+	+	+	
34		150	0,206	0,079	102,11	275	0,04	0,06	0,25	102,11	14,30	0,14	14,43	150	+	+	+	+	
35		185	0,167	0,077	137,48	310	0,03	0,05	0,20	137,48	19,25	0,11	19,36	185	+	+	+	+	
36	Мінімальні затрати, тис.грн											Змін	4,23						
37	Оптимальний переріз КЛ, мм <sup>2</sup>											Хопт	35						

Рисунок 2.10 – Результати розрахунку оптимального перерізу КЛ – 10 кВ від ЦРП до ТПЗ

Освітлювальне навантаження на картограмі зображається сектором кола, який визначається:

$$\alpha_{\text{осв } i} = \frac{P_{\text{ро}} * 360}{P_{\text{ро}} + P_{\text{рі}}}, \quad (2.27)$$

де  $P_{\text{рі}}$  – розрахункова потужність силового навантаження, кВт.

$P_{\text{ро}}$ - розрахункова потужність освітлювального навантаження, кВт;

Отримані результати розрахунку картограми електричних навантажень наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку картограми електричних навантажень

№ за планом	Найменування цехів	$P_{\text{р}\Sigma}$ , кВт	$P_{\text{ро}}$ , кВт	R, мм	$\alpha_{\text{осв}}$ , град
1	Відділи: технічний та виробничо-диспетчерський. Дільниця ковальсько-пресова	143,1	3,07	76,2	7,72
2	Заводоуправління	41,42	1,42	40,99	12,34
3	Відділення виготовлення деталей із гуми і пластмас	199,4	1,41	89,9	2,53
4	Компресорна	151,7	1,68	78,45	4,0
5	Цех №1	173,5	13,51	83,89	28,3
6	Цех №2	244,2	4,21	99,53	6,2
7	Склад металу	45,47	3,47	42,9	27,5
8	Відділення плазмового різання	83,79	11,8	58,2	50,7
9	Субабонент (об'єкт №1)	28,77	4,77	34,16	59,6
10	Субабонент (об'єкт №2)	56,22	11,22	47,75	71,87
11	Субабонент (об'єкт №3)	135,7	9,86	74,2	26,1
12	Субабонент (об'єкт №4)	106,2	10,16	25,6	34,5
13	Субабонент (об'єкт №5)	133,0	7,04	82,0	18,9
14	Субабонент (об'єкт №6)	128,3	2,34	72,1	6,56

ЦРП розміщується якомога ближче до центру електричних навантажень [3], оскільки мінімум втрат енергії в провідниках буде у разі її установки саме в ЦЕН.

ЦЕН підприємства знаходиться за формулами:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^{14} (P_{p.i} + P_{p.o.i}) X_i}{\sum_{i=1}^{14} (P_{p.i} + P_{p.o.i})}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{14} (P_{p.i} + P_{p.o.i}) Y_i}{\sum_{i=1}^{14} (P_{p.i} + P_{p.o.i})}, \quad (2.27)$$

де  $X_i, Y_i$  – координати центру навантажень  $i$ -го виробничого об'єкту.

Розрахунок ЦЕН виконано в координатах креслення, показаних на рисунку 2.11, а отримані результати зведені до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунок центру електричних навантажень підприємства

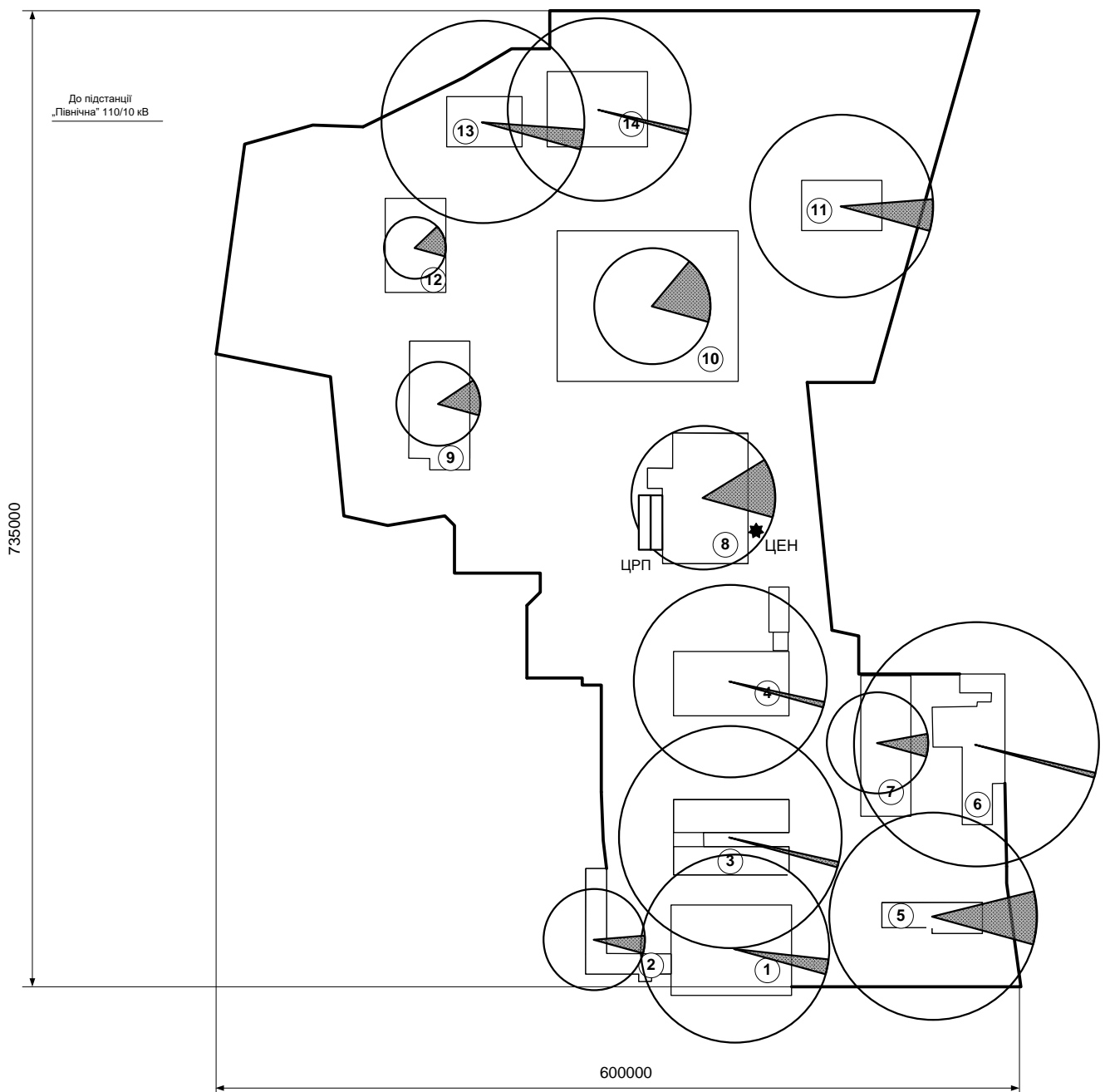
№ за планом	Найменування цехів	$P_{роз} + P_{ос}$ , кВт	X, см	Y, см	$P_{роз} * X$ , кВт*см	$P_{роз} * Y$ , кВт*см
1	Відділи: технічний та виробничо-диспетчерський. Дільниця ковальсько-пресова	143,1	9,0	1,0	1287,9	143,1
2	Заводоуправління	41,42	6,7	1,0	277,4	41,42
3	Відділення виготовлення деталей із гуми і пластмас	199,4	9,0	2,0	1800	398,8
4	Компресорна	151,7	9,0	5,0	1365,3	758,5
5	Цех №1	173,5	12,2	1,1	2116,7	190,8
6	Цех №2	244,2	13,2	4,0	3223,4	976,8
7	Склад металу	45,47	7,2	4,0	327,6	181,9
8	Відділення плазмового різання	83,79	8,5	8,4	712,3	703,9
9	Субабонент (об'єкт №1)	28,77	4,0	10,2	115	293,5
10	Субабонент (об'єкт №2)	56,22	7,1	12,0	399,2	674,6
11	Субабонент (об'єкт №3)	135,7	10,0	13,3	1357	1804,8
12	Субабонент (об'єкт №4)	106,2	4,0	12,7	424,8	1348,7
13	Субабонент (об'єкт №5)	133,0	5,0	15,1	665	2008,3
14	Субабонент (об'єкт №6)	128,3	6,6	15,3	846,8	1963

Всього по комбінату	1591,7		14919,2	11488,3
---------------------	--------	--	---------	---------

Координати ЦЕН підприємства (оптимального місця розташування ЦРП), визначені за наведеними формулами, становлять:

$$X_0 = \frac{14919.2}{1591.7} = 9.37 \text{ см}; \quad Y_0 = \frac{11488.3}{1591.7} = 7.21 \text{ см}.$$

На рис. 2.11 показані координати ЦЕН підприємства, що отримані за результатами розрахунку.





## Рисунок 2.11– Координати оптимального місця розташування ЦРП підприємства

Виберемо місце розташування ЦРП неподалік від розрахованого центру електричних навантажень. Саме місце зміщено від ЦЕН в сторону джерела живлення, що це показано в презентації магістерської роботи.

### 2.6 Оптимальна компенсація реактивних навантажень підприємства

Для зменшення втрати активної потужності в електричних мережах, передбачимо компенсацію реактивної потужності шляхом установки батарей статичних конденсаторів (БСК). Таке технічне рішення змінює перетони реактивної потужності, що впливає на втрати активної потужності в мережі, які залежать від потужності БСК. Дану технічну задачу будемо вирішувати як оптимізаційну, оскільки вона має безліч варіантів вирішення і кожному з них відповідає певне значення втрат активної потужності в мережі.

Вирішувати таку задачу потрібно взяти до уваги, що енергопостачальною організацією встановлена величина вхідної реактивної потужності для підприємства  $Q_e=300$  квар.

Задачу будемо вирішувати керуючись такою математичною моделлю:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta P_{\Sigma} = \frac{10^{-3}}{U_H^2} \sum_{i=1}^N Q_{ei} * R_{ei} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^N Q_{ei} = Q_e \\ Q_{pi} = Q_{ei} \end{array} \right\} \quad (2.28)$$

де  $N$  – кількість вузлів електричної енергії, в якій споживається величина  $Q_{ei}$ :

$U_H$  – номінальна напруга мережі;

$R_{ei}$  – еквівалентний опір мереж  $i$ -го приєднання;

$Q_{ei}$ - величина реактивної потужності, яку доцільно передавати в  $i$ -тий вузол електричної мережі з точки зору мінімальних втрат потужності.

Оптимізаційну задачу оптимального розподілу вхідної реактивної потужності між вузлами установки БСК виконаємо за методом невизначених множників Лагранжа. Він дозволяє визначити оптимальне значення реактивної потужності (як долю вхідної –  $Q_e$ ), яку доцільно передати  $i$ -й вузол мережі при мінімальних втратах активної потужності в мережі 10 кВ підприємства [7]:

$$Q_{ei} = \frac{10^3 * U_H^2 * \lambda}{2R_{ei}};$$

де  $\lambda$  - множник Лагранжа,  $\lambda = \frac{B * Q_{BB}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{R_{ei}}}$ ,

$Q_{BB}$  - вхідна реактивна потужність, що задана енергосистемою;

$$B\text{- коефіцієнт, } B = \frac{2 * 10^3}{U_H^2} = \frac{2 * 10^3}{10^2} = 2 * 10^{-5}.$$

Визначимо необхідну потужність компенсуючих пристроїв [1]:

$$Q_{KV} \geq Q_M - Q_e = 1139,87 - 300 = 839,87 \text{ квар.}$$

Значення реактивної потужності, яку доцільно передавати в  $i$ -тий вузол електромережі -  $Q_{ei}$  знайдемо, керуючись схемою заміщення розподільчої мережі підприємства, рис. 2.12.

Розрахуємо еквівалентний опір, виходячи із перерізів кабелів та довжин ліній, а також опорів трансформаторів. Питомий опір кабеля ААБ(3\*35), яким живляться ТП1, ТП2 та ТП3 – 0,95 Ом/км [2]. Довжини кабелю від ЦРП підприємства до відповідної ТП за планом електричних мереж підприємства та їх опори:

$$\text{ЦРП – ТП1: – } L=0,4 \text{ км; } R_{л1}=0,38 \text{ Ом;}$$

$$\text{ЦРП – ТП2: – } L=0,06 \text{ км; } R_{л2}=0,057 \text{ Ом;}$$

$$\text{ЦРП – ТП3: – } L=0,45 \text{ км; } R_{л3}=0,43 \text{ Ом;}$$

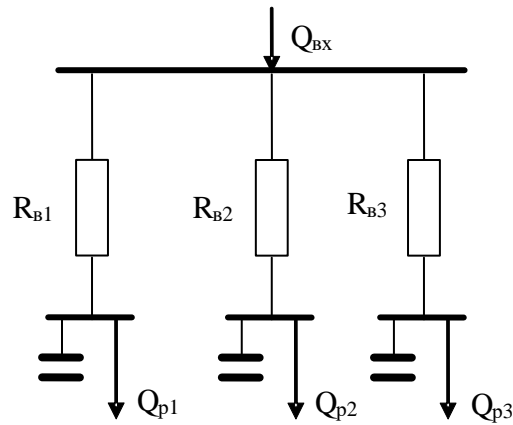


Рисунок 2.12 – R-схема заміщення розподільної мережі

На всіх ТП встановлюються трансформатори однакової потужності (ТМ 630/10). На підставі цього їх опори при розподілі вхідної потужності  $Q_e$  немає потреби.

Еквівалентні опори розподільної мережі:

$$R_{e1}=0,38 \text{ Ом};$$

$$R_{e2}=0,057 \text{ Ом};$$

$$R_{e3}=0,43 \text{ Ом};$$

$$\Sigma \frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_{e1}} + \frac{1}{R_{e2}} + \frac{1}{R_{e3}} = 22,49 \text{ См.}$$

Множник Лагранжа:

$$\lambda = \frac{2 * 10^{-5} * 250}{22,49} = 22,23 * 10^{-5} .$$

Долі вхідної реактивної потужності, що доцільно передавати у вузли навантаження:

$$Q_{e1} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 22,32 * 10^{-5}}{2 * 0,38} = 29,36 \text{ квар};$$

$$Q_{e2} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 22,32 * 10^{-5}}{2 * 0,057} = 195,8 \text{ квар};$$

$$Q_{e3} = \frac{10^3 * 10,5^2 * 22,32 * 10^{-5}}{2 * 0,43} = 25,95 \text{ квар.}$$

Визначимо потужність конденсаторних батарей, які слід встановити на кожній ТП:

$$Q_{BK_i} = Q_{Pi} - Q_{ei}, \quad (2.34)$$

де  $Q_{BK_i}$  – потужність конденсаторних батарей в вузлі  $i$ ;

$Q_{Pi}$  – розрахункова реактивна потужність вузла  $i$ ;

$Q_{ei}$  – доля вхідної реактивної потужності, яку доцільно передавати в вузол  $i$ .

$$Q_{BK1} = 461 - 29,4 = 431,6 \text{ квар};$$

$$Q_{BK2} = 459,6 - 195,8 = 263,8 \text{ квар};$$

$$Q_{BK3} = 414,3 - 25,95 = 388,35 \text{ квар};$$

Виберемо для установки комплектну конденсаторну установку серії ККУ-0,4-

На КТП1:

ККУ-0,4-200/10-25-21УЗ в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин КТП). Загальна потужність встановлених батарей становить: 400 квар.

ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин КТП). Загальна потужність встановлених батарей становить: 30 квар.

На КТП2:

ККУ-0,4-120/12-10-21УЗ в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин). Загальна потужність встановлених батарей становить: 240 квар.

ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин КТП). Загальна потужність встановлених батарей становить: 30 квар.

На КТПЗ:

ККУ-0,4-150/8-10-21УЗ в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин). Загальна потужність встановлених батарей становить: 300 квар.

ККУ-0,4-45/9-5-21УЗ в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин). Загальна потужність встановлених батарей становить: 90 квар

Наявність секцій керування КУ дозволить здійснювати керування в залежності від споживання реактивних навантажень по підприємству [7].

## 2.7 Висновки до розділу 2

### 1. В системі електропостачання

ДП «45 експериментальний механічний завод» доцільно встановити три двотрансформаторних підстанції з трансформаторами потужністю 630 кВА.

### 2. Економічно доцільним є виконання кабельних ліній такими перерізами:

- підстанція «ПРОМИСЛОВА» – ЦРП підприємства 2(3×50);
- ЦРП підприємства – ТП1 2(3×30);
- ЦРП підприємства – ТП2 2(3×35);
- ЦРП підприємства – ТП3 2(3×35).

3. Для зниження активних втрат в мережах 10 кВ підприємства, в лініях зовнішнього електропостачання і трансформаторах, а також для забезпечення вимог енергосистеми до шин 0,4 кВ ТП слід під'єднати комплектні конденсаторні батареї:

– на ТП1:

ККУ-0,4-200/10-25-21УЗ потужністю 200 квар в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин КТП);

ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ потужністю 15 квар в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин КТП);

– на ТП2:

ККУ-0,4-120/12-10-21УЗ потужністю 120 квар в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин);

ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ потужністю 15 квар в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин КТП)

– на ТПЗ:

ККУ-0,4-150/8-10-21УЗ потужністю 150 квар в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин);

ККУ-0,4-45/9-5-21УЗ потужністю 45 квар в кількості 2 шт (по одній на кожну секцію збірних шин).

## РОЗДІЛ 3. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВРАХУВАННЯМ ФАКТИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ

### 3.1 Вплив напруги на потужність БСК

3.1.1 Залежність потужності БСК від фактичної напруги. БСК мають ряд недоліків, одним з яких є залежність потужності конденсатора від напруги та частоти [1]:

$$Q_k = Q_n \cdot \left( \frac{U_\phi}{U_n} \right)^2 \cdot \left( \frac{f_\phi}{f_n} \right), \quad (3.1)$$

де  $Q_k$  - фактична потужність, що генерується БСК;

$U_\phi$  та  $f_\phi$  - фактичні напруга та частота в місці приєднання БСК;

$Q_n$ ,  $U_n$  та  $f_n$  - відповідно номінальні значення потужності БСК, напруги, та частоти.

Оскільки частота мережі згідно з [2] змінюється в незначних межах ( $\pm 0,2$  Гц), її впливом можна знехтувати, і рівняння прийме вигляд:

$$Q_k = Q_n \cdot \left( \frac{U_\phi}{U_n} \right)^2 \quad (3.2)$$

Таким чином, при спадах напруги мережі реактивна потужність БСК, яка генерується, знижується, що призводить до додаткового зниження напруги, при підвищенні напруги – навпаки. В цьому виявляється від'ємний регулюючий ефект БСК.

3.1.2 Дослідження умов доцільності врахування залежності  $Q_{\text{БСК}}(U)$ . Відхилення напруги в розподільчих мережах відбувається постійно протягом доби, і обумовлене такими причинами:

- добові, сезонні і технологічні зміни струму навантаження;

- зміна потужності генераторів і компенсуючі пристроїв;
- зміни схеми і параметрів електричної мережі.

Аналіз рівняння (3.2) свідчить, що вже при відхиленнях напруги в межах  $\pm 5\%$ , що регламентовано ГОСТ 13109-97 потужність ступенів БСК зміниться на  $\pm 10\%$ . Це може призвести до суттєвих неточностей у розв'язанні, і, як наслідок, до прийняття недопустимих рішень або до зниження ефективності управління. В дійсності, відхилення напруги у вузлі установки БСК може бути і більшим, що пов'язане з втратами напруги від вузла живлення до приймача електроенергії.

З рівняння (3.2) та відомого рівняння втрат напруги в мережі можна вивести співвідношення, що дозволять визначити умови, за яких доцільно при управлінні БСК враховувати залежність  $Q_K(U)$ .

Визначимо відносний рівень напруги  $k_u$ , за якого неврахування  $Q_K(U)$  в розрахунках викличе появу абсолютної похибки по потужності  $\xi_Q$ , квар, та параметри, що визначають цю похибку:

$$\xi_Q = Q_K - Q_H = Q_H \cdot (k_u^2 - 1) \quad (3.3)$$

З (3.3) виразимо  $k_u$ :

$$k_u = \sqrt{1 + \frac{\xi_Q}{Q_H}}, \quad (3.4)$$

де  $k_u = \frac{U_\phi}{U_H}$  - відносний рівень напруги у вузлі, в.о.

За співвідношенням (3.4), задавшись похибкою  $\xi_Q$  і варіюючи  $Q_H$  в пакеті MathCAD було отримано графічну інтерпретацію  $k_u(Q_H)$ , рис. 3.1.

З графіків, рис. 3.1, видно, що, наприклад, при нарузі  $1,05 U_H$  та номінальній потужності БСК 200 квар її потужність насправді становить  $200+20=220$  квар. В такому випадку відомі системи управління БСК в процесі роботи не враховують факт збільшення потужності БСК.



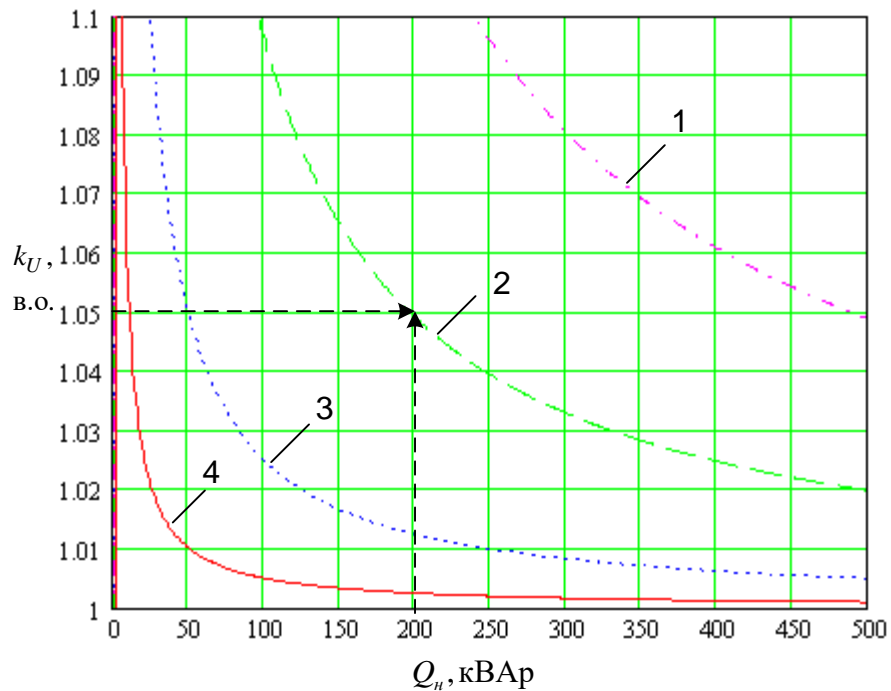


Рисунок 3.1– Функціональні залежності  $k_u(Q_n)$ ,

1 – при  $\xi_Q = 50$  кВАр; 2 – при  $\xi_Q = 20$  кВАр;

3 – при  $\xi_Q = 5$  кВАр; 4 – при  $\xi_Q = 1$  кВАр

Включення БСК може здійснюватись для регулювання напруги. В роботі таких регуляторів виникає похибка іншого змісту – похибка по напрузі –  $\xi_U$ , В. Її природа полягає в тому, що добавка напруги насправді буде іншою (ніж вважаємо) – тією, яка відповідає реальній потужності БСК. Виконаємо аналіз похибки  $\xi_U$ :

Відомо, що включення БСК обумовлює добавку напруги у вузлі її установки:

$$\Delta U_k = \frac{Q_k \cdot 10^{-3}}{U_n} \cdot x_\Sigma, \quad (3.5)$$

де  $\Delta U_k$  – добавка напруги, внаслідок ввімкнення БСК, В;

$Q_k$  – ввімкнена потужність БСК, квар;

$x_\Sigma$  – опір живлячого електричного кола „система – вузол підключення БСК”, Ом.

Похибка по напрузі:

$$\xi_U = \Delta U_\phi - \Delta U_H = \frac{Q_K - Q_H}{U_H} \cdot x_\Sigma = \frac{Q_H(k_u^2 - 1)}{U_H} \cdot x_\Sigma, \quad (3.6)$$

де  $\Delta U_\phi$  та  $\Delta U_H$ —добавки напруги, розраховані за фактичною і номінальною потужностями БСК відповідно.

З (3.6) визначимо  $Q_H$ :

$$Q_H = \xi_u \cdot \frac{U_H}{x_\Sigma \cdot (k_u^2 - 1)} \quad (3.7)$$

і побудуємо у відповідності до (3.7) залежності  $Q(x)$ , рис. 3.2.

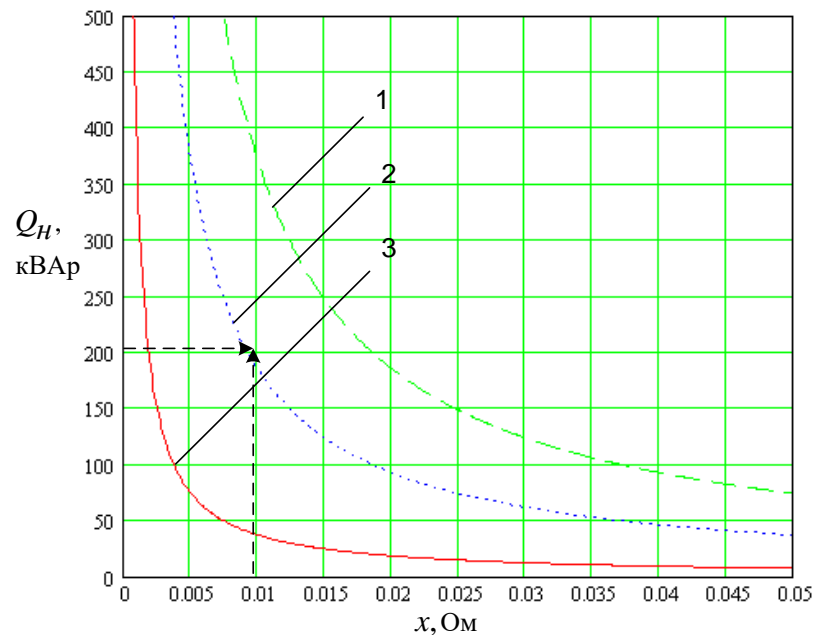


Рисунок 3.2 – Функціональні залежності  $Q(x)$

1 – при  $\xi_U=1В$ ;

2 – при  $\xi_U=0,5В$ ;

3 – при  $\xi_U=0,1В$

Графіки, рис. 3.2 отримані при  $U_H=0,38$  кВ та  $k_u=1,05$  (0,95), дозволяють оцінити похибку, яка має місце при неврахуванні  $Q(U)$  в процесі управління БСК в розподільчих мережах 0,4 кВ. Наприклад, для потужності 200 квар і при опорі мережі 0,01 Ом вона становить 0,5 В.

Отриманими результатами можна скористатись:

- для визначення необхідності враховувати згадані вище фактори в конкретному вузлі установки БСК;

- в алгоритмі розрахунків вектора управління, за яким працює керуюча система.

3.2 Математична модель, що враховує фактичний рівень напруги на затискачах БСК і алгоритм її аналізу

Неврахування залежності  $\Delta Q(U)$  в умовах добових відхилень напруги може в деяких випадках привести до суттєвих похибок і погіршення ефективності керування. В зв'язку з цим, існуючі математичні моделі та методи їх аналізу потребують внесення суттєвих змін з метою отримання результатів відповідно режиму, який склався на момент прийняття рішення.

3.2.1 Складові взаємного впливу реактивної потужності та напруги. Врахування залежності  $\Delta Q(U)$  повинно містити наступні аспекти:

- врахування початкових умов;
- врахування післядії ввімкнених потужностей БСК.

Врахування початкових умов. Як показує досвід, в вузлах реальних розподільчих мереж 0,4 кВ, куди підключають БСК, напруга в більшості випадків не дорівнює номінальному значенню (якщо, звичайно в вузлі не має стабілізуючої апаратури). Тобто потужність ступенів БСК майже завжди відрізняється від номінальної, що може привести до появи зворотних перетоків реактивної потужності. Під врахуванням початкових умов будемо розуміти прийняття управляючих рішень виходячи з реактивних потужностей БСК, що відповідають реальним значенням напруги перед початком розрахункового процесу.

Врахування післядії ввімкнених потужностей БСК. Ввімкнення чергової ступені БСК призводить до підвищення напруги в вузлі її підключення, а отже і до зростання потужності як щойно введеної ступені так і всіх ступенів, введених раніше, що викличе чергове підвищення напруги і т.д. Це явище далі будемо називати післядією від ввімкнення потужності БСК. Післядія може стати

причиною того, що навіть при реалізації допустимого рішення (включенні ступені, розрахованої за фактичним значенням напруги) параметри, що контролюються (остаточна потужність вводу, напруга у вузлі), вийдуть за допустимі межі.

3.2.2 Математична модель та алгоритм її аналізу. Управління БСК з врахуванням реальної їх потужності (яка відповідає реальній напрузі), післядії від ввімкнення потужності БСК слід розглядати в двох варіантах. Перший – коли мета управління полягає в тому, щоб забезпечити, як мінімум, нижню межу допустимого відхилення напруги. Другий – те ж саме, але не порушити верхню межу. В першому випадку має місце недокомпенсація реактивної потужності і менше значення напруги, порівняно з розрахунковим. Але, оскільки відпайка трансформатора ТП (де зазвичай встановлюється БСК) вибирається таким чином, щоб забезпечити нижнє значення напруги в будь-якому режимі і, зрозуміло перекомпенсація в цьому випадку неможлива, то більш доцільним є розгляд другого випадку, коли можливими є порушення обмежень моделі керування. Розглянемо детально випадок управління БСК на межі максимальних обмежень як по реактивній потужності вводу так і по напрузі.

Прийняття рішення по включенню секції БСК з метою зменшення втрат активної потужності може призвести до відхилення напруги за верхню допустиму межу. Щоб виключити за таких обставин небажані впливи на електричний режим, вектор управління доцільно визначити у відповідності з математичною моделлю:

$$\begin{cases} Q' - \Delta Q(U) \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ Q' - \Delta Q(U) \cdot X \geq Q_{\text{дон}} \\ U' + \Delta U(U) \cdot X \leq U_{\text{max.дон}} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

Математична модель (3.8) містить коефіцієнти (елементи матриць  $AQ$  та  $AU$ ), що функціонально залежать від рівнів напруги, які в свою чергу залежать від реалізації результатів розв'язування задачі. Ця обставина потребує розробки алгоритму аналізу для даної математичної моделі.

Аналіз математичної моделі (3.18), виконаємо методом динамічного програмування. Метод динамічного програмування передбачає, що вибір управління на  $k$ -му кроці не впливає на попередні кроки, а стан на початку цього кроку є функцією лише попереднього стану і обраного на ньому керування (відсутність післядій) [8]. Процес обчислень за методом динамічного програмування для даної задачі буде мати особливості в порівнянні з його класичною схемою, які пов'язані з наявністю післядії. Вирішити сформульовану задачу можна користуючись розробленим алгоритмом.

Обчислення вектора оптимального управління потужністю БСК за даним алгоритмом виконується на двох рівнях:

I рівень – попереднє рішення про включення, що приймається на основі результатів виміру напруги в вузлі підключення керуючись рекурентними співвідношеннями методу динамічного програмування;

II рівень – остаточне рішення, визначається на основі розрахунку напруги, що буде на затискачах БСК внаслідок реалізації рішення I-го рівня з врахуванням всіх можливих післядій.

Врахування післядії ввімкнення чергової ступені БСК передбачається проводити шляхом ітераційних уточнень всієї ввімкненої (як на даному, так і на всіх попередніх етапах) потужності. Степінь наближення в процесі цього може визначатись, наприклад, класом точності вимірювальних приладів, що забезпечують необхідною оперативною інформацією.

На кожному рівні обчислень формується множина допустимих для ввімкнення ступенів БСК з якої здійснюється вибір найбільш ефективного рішення.

За такої схеми проведення обчислень виключається можливість порушення обмежень математичної моделі (3.8) по остаточній потужності вводу та

максимально-допустимій напрузі в вузлі, що фізично відображається в неможливості виконання хибних комутацій БСК.

Знаходження оптимального вектора управління БСК у відповідності до математичної моделі (3.8) здійснюється за наступним алгоритмом:

Крок 1. Визначаються потужності секцій БСК і добавки напруги від їх можливого ввімкнення за фактичною напругою на затискачах;

Крок 2. Знаходиться попередня (для k-го етапу) множина допустимих до включення потужностей секцій БСК  $D_k^{\Pi}$ .

Крок 3. Якщо множина  $D_k^{\Pi}$  пуста, то обчислення припиняються. Оптимальний вектор управління знайдений (якщо  $k=1$ , то вектор керування  $X$  складається з нулів). Інакше перехід до кроку 4.

Крок 4. Робиться оцінка станів системи в припущенні, що здійснюється почергове включення кожної із ступенів БСК, що є компонентами  $D_k^{\Pi}$  та вибирається для остаточного включення ступінь, що забезпечує максимальний ефект. Відповідний цьому стан системи фіксується — отримано попереднє рішення про ввімкнення ступені  $x_i^{\Pi}$ .

Крок 5. Уточнення із заданою точністю стану системи з врахуванням післядії включення секції БСК.

Крок 6. Формування  $D_k^K$  на основі уточнених параметрів БСК. Перевірка попередньо отриманого рішення  $x_i^{\Pi}$  на належність  $D_k^K$ . Якщо  $x_i^{\Pi} \in D_k^K$ , то рішення приймається як остаточне і реалізується, перехід до кроку 2 (на основі нового стану БСК). В іншому випадку ця ступінь виключається з множини  $D_k^{\Pi}$  як на цьому, так і на наступних етапах, перехід до кроку 2 ( $D_{k+1}^{\Pi} = D_k^K$ ).

За етап в цьому алгоритмі, на відміну від класичного методу динамічного програмування, розуміється як отримання остаточного рішення про ввімкнення чергової ступені, так і рішення про виключення з розгляду ступені, яка задовольняла умовам (обмеженням) лише при попередньому розрахунку.

Запропонований алгоритм у вигляді блок - схем представлений на рис. 3.3.

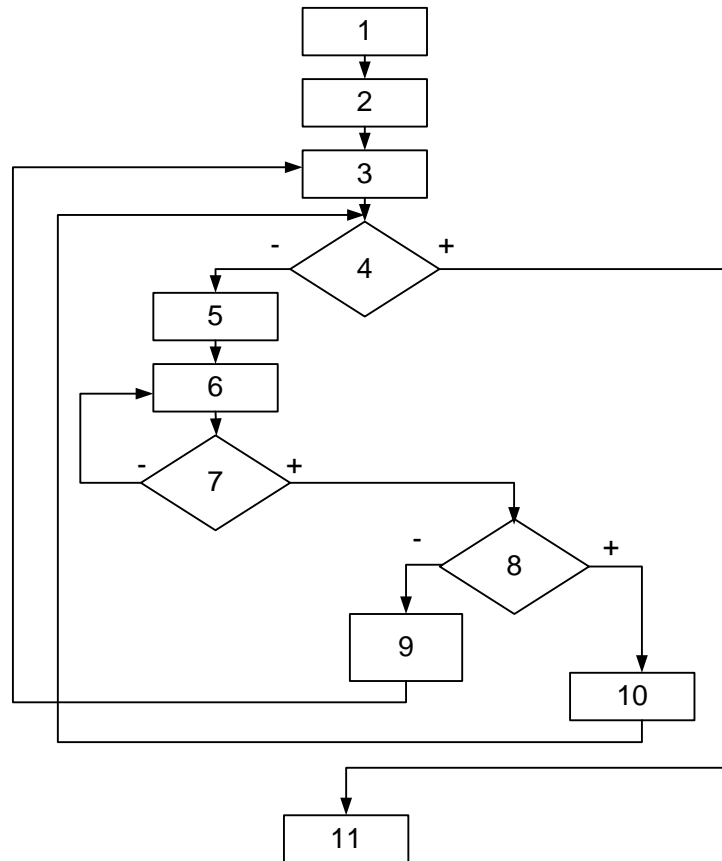


Рисунок 3.3 – Загальна блок-схема алгоритму розрахунку оптимального вектора керування БСК з врахуванням післядії

На рисунку 3.3 зміст окремих блоків алгоритму:

1 – отримання початкових даних;

2 – визначення потужностей секцій БСК і добавок напруги від їх ввімкнення за фактичною напругою на затискачах;

3 – знаходження попередньої множини допустимих до включення потужностей секцій БСК  $D_k^{\Pi}$ ;

4 – перевірка, чи  $D_k^{\Pi}$  – не пуста множина;

5 – прийняття попереднього рішення про ввімкнення чергової секції, на основі рекурентних співвідношень;

6 – уточнення стану системи з врахуванням післядії включення секції БСК;

7 – перевірка умови достатності наближення;

8 – формування  $D_k^K$  на основі уточнених значень. Перевірка належності потужності секції БСК, що відповідає попередньо-прийнятому рішення, множині  $D_k^K$ ;

9 – виключення потужності секції БСК, що відповідає попередньо-отриманому рішення, з допустимих розв'язків;

10 – прийняття кінцевого рішення про ввімкнення чергової секції БСК.

3.2.3 Розрахунок тестової задачі. Для схеми, рис. 3.4, забезпечити мінімальні втрати активної потужності в лінії шляхом включення відповідних секцій БСК за умови, що напруга на збірних шинах не повинна перевищувати  $U_{\text{мах.доп}} = 405$  В. Нижнє порогове значення реактивної потужності вводу становить  $Q_{\text{доп}} = 0$  квар. Необхідні для вирішення задачі параметри схеми та режиму наведені на рис. 3.4, де  $U_{\text{факт}}$ ,  $S$  – фактична напруга та потужність навантаження на момент прийняття керуючого рішення;  $\Delta Q_n$  – матриця номінальних потужностей секцій БСК.

Визначити оптимальний вектор управління з урахуванням реальних напруг.

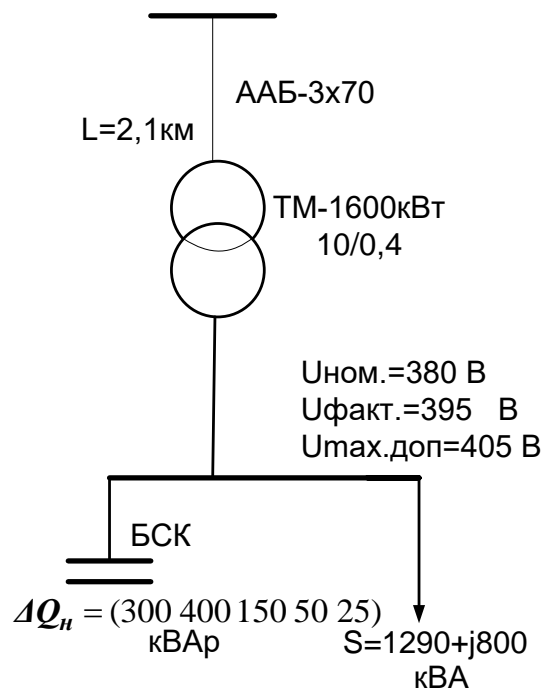


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема і вихідні дані тестової задачі



Розв'язування.

Визначимо початкові умови (що відповідають фактичному значенню напруги  $U_{\phi}=395$  В):

$$\Delta Q = (300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25) \cdot \left(\frac{395}{380}\right)^2 = (324 \ 432 \ 162 \ 54 \ 27) \text{ кВАр};$$

$$\Delta U = (324 \ 432 \ 162 \ 54 \ 27) \cdot \left(\frac{0,0069}{0,38}\right) = (5,88 \ 7,84 \ 2,94 \ 0,98 \ 0,49) \text{ В}.$$

Формалізуємо математичну модель на початок розрахунків в числовому вигляді :

$$\begin{cases} 800 - (324 \ 432 \ 162 \ 54 \ 27) \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ 800 - (324 \ 432 \ 162 \ 54 \ 27) \geq 0 \\ 395 + (5,88 \ 7,84 \ 2,94 \ 0,98 \ 0,49) \cdot X \leq 405 \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{cases}$$

Етап 1.

Формуємо множину (попередню) допустимих до включення на цьому етапі ступенів:

$$D_1^{\Pi} : \begin{cases} Q_1 = 800 - 0 - 0 = 800 \text{ кВАр}; \\ U_1 = 405 - (395 + 0) = 10 \text{ В}; \end{cases}$$

$$D_1^{\Pi} = \Delta Q_n = (324 \ 432 \ 162 \ 54 \ 27) \text{ кВАр};$$

Так як  $D_1^{\Pi}$  не пуста множина відповідно до (3.10) виконаємо оцінку станів системи:

$$f_1 = \min ((800 - 324)(800 - 432)(800 - 162)(800 - 54)(800 - 27)) = 368 \text{ кВАр}$$

отже найбільш ефективним є включення 2-ї ступені. Попередньо приймаємо рішення про включення цієї ступені БСК:  $x_2^{\Pi}=1$ ,  $(X_I^{\Pi})^t=(0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0)$ .

Значення напруги, яке встановиться внаслідок ввімкнення ступені  $x_2$ :

$$U_1^{\Pi} = 395 + 7,84 = 402,84 \text{ В};$$

Врахуємо післядію:

$$\Delta Q_{1,1} = (300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25) \cdot \left(\frac{402,84}{380}\right)^2 = (337,15 \ 449,53 \ 168,57 \ 56,28 \ 28,14) \text{ кВАр};$$

$$\Delta U_{1,1} = (337,15 \ 449,53 \ 168,57 \ 56,28 \ 28,14) \cdot \frac{0,0069}{0,38} = (6,12 \ 8,16 \ 3,06 \ 1,02 \ 0,51) \text{ В};$$

$$U_{1,1}^K = 395 + 8,16 = 403,16 \text{ В};$$

$$|403,16 - 402,84| = 0,36 > 0,1 \text{ В} - \text{необхідної точності (0,1 В) не досягнуто,}$$

розрахунок післядії продовжується.

$$\Delta Q_{1,2} = (300 \ 400 \ 150 \ 50 \ 25) \cdot \left( \frac{403,16}{380} \right)^2 = (337,69 \ 450,27 \ 168,85 \ 56,28 \ 28,14) \text{ кВАр};$$

$$\Delta U_{1,2} = (337,69 \ 450,27 \ 168,85 \ 56,28 \ 28,14) \cdot \frac{0,0069}{0,38} = (6,13 \ 8,18 \ 3,07 \ 1,02 \ 0,51) \text{ В};$$

$$U_{1,2}^K = 395 + 8,18 = 403,18 \text{ В};$$

$$|403,18 - 403,16| = 0,02 < 0,1 \text{ В};$$

Перевіримо отримане рішення ( $x_2=1$ ), враховуючи післядію, на відповідність обмеженням математичної моделі керування:

$$Q_{ост} = 800 - 450 = 350 > 0 \text{ кВАр} - \text{нескомпенсована потужність вводу};$$

$$395 + 8,18 = 403,18 < 405 \text{ В};$$

Отже, як остаточне, на першому етапі приймаємо рішення про ввімкнення ступені 450 квар (номінальна потужність 400 квар).

Розрахунки наступних етапів проводяться аналогічно. Отримані результати зведено до табл. 3.1. Для порівняння та аналізу до таблиці також зведені результати управління для умов того ж прикладу за алгоритмом, в якому не враховується реальний рівень напруг при прийнятті рішення про включення секцій БСК.

Як видно з табл. 3.1, результат, отриманий за алгоритмом, де не враховується вплив напруги, алгоритм 1 – недопустимий, оскільки його реалізація забезпечить рівень напруги у вузлі 406,41 В, що більше за  $U_{доп} = 405 \text{ В}$  (розрахунки, що виконані на підставі допущень, покладених в основу цього алгоритму, дають допустиме значення напруги 404,98 В). Результат, знайдений за алгоритмом, рис.3.3, алгоритмом 2, допустимий, тому що реалізація його супроводжується збільшенням напруги до величини 404,8 В.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку вектора управління та режиму в мережі за двома алгоритмами

Алг. №	Оптимальний вектор управління	Сумарна потужність секцій БСК, квар		Реактивна потужність вводу, квар		Напруга на збірних шинах, В		Висновок
		Номинальна	Реальна	Що відповідає ном. потужностям секцій БСК	Що відповідає реальним потужностям БСК	Що відповідає ном. потужностям секцій БСК	Що відповідає реальним потужностям БСК	
1	(0 1 1 0 0)	550	629	250	171	404,9	406,4	Керування недопустиме
2	(0 1 0 1 1)	475	539	325	261	невизначалась	404,8	Керування допустиме

Крім того, в першому випадку залишається неврахованою додаткова реактивна потужність, що генерується БСК, в 79 квар (що складає 14,4% від номінальної ввімкненої потужності). Тобто можливі ситуації, коли реактивна потужність вводу  $Q' - \Delta Q(U) \cdot X$ , що відповідає реалізації результатів, отриманих за алгоритмом 1, набуде недопустимих значень (випадок, коли обмеження на допустиму величину реактивної потужності вводу є більш „жорстким” в порівнянні з обмеженням на допустиме значення напруги).

### 3.3 Висновки до розділу 3

1. В системі електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод» можуть мати місце випадки, коли рішення по управлінню БСК, отримане за їх номінальними параметрами, виявляється недопустимим. Тому рішення по

визначенню керуючого впливу необхідно приймати виходячи з реальних потужностей ступенів БСК (потужностей, що відповідають реальній напрузі на БСК) та ефекту післядії ввімкненої потужності.

2. У випадках стабільності (або незначних відхилень) напруги у вузлі приєднання БСК, малого опору живлячої мережі, при невеликих потужностях БСК врахування залежності потужності від напруги та післядії по напрузі не має сенсу. Проте необхідно застосувати запропонований алгоритм у випадку керування БСК на межі максимальних значень, як по реактивній потужності вводу, так і по напрузі, коли можливе порушення відповідних обмежень.

3. Розроблена цілочислова математична модель, що дозволяє знайти вектор управління для БСК виходячи з реальних потужностей її секцій та ефекту післядії для випадку, коли реалізація управління створює загрозу для відхилення напруги за верхню допустиму межу.

4. Аналіз даної математичної моделі можна здійснити за розробленим алгоритмом, в основі якого модифікований метод динамічного програмування, що дозволяє враховувати як обмеження математичної моделі, так і післядію.

## РОЗДІЛ 4.

## ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ РОБОТИ

## 4.1 Розрахунок чисельності обслуговуючого та ремонтного персоналу

Чисельність електроперсоналу визначається трудомісткістю поточного ремонту та технічного обслуговування електрообладнання та мереж. Планова трудомісткість відповідного виду робіт  $T'$  ( $T_{п р}$ ,  $T_{огл}$ ) визначається :

$$T' = \Pi * t_{норм} * h \quad (4.1)$$

де  $\Pi$  – число ремонтів даного виду за рік, що приходить на одиницю обладнання;

$t_{норм}$  – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд\*год;

$h$  – кількість обладнання даного виду.

Розрахунок планової трудомісткості технічного обслуговування виконується :

$$T_{т о} = 12 * t_{норм} * k_{с р} \quad (4.2)$$

де  $t_{норм}$  – планова трудомісткість поточного ремонту, люд\*год;

$k_{с р}$  – коефіцієнт складності ремонту, 1/міс.

Розрахунок виконаємо у табличній формі за [11].

Таблиця 4.1 – Розрахунок планової трудомісткості технічного обслуговування

Обладнання та мережі	Поточний ремонт				Огляди			Технічне обслуговування, люд*год,
	Кількість	Число одиниць обладнання, рем/рік	Норми трудомісткості, люд*год	Загальна трудомісткість, люд*год	Число оглядів на одиницю облад., 1/рік	Норми трудомісткості, люд*год	Загальна трудомісткість, люд*год	
1.Кабельні лінії зовнішньої системи електропост, км ААБ(3*50)	6,4	1	15	75	-	-	-	180
2.Кабельні лінії заводського	1,82	1	15	30	-	-	-	180

електропостачання ААБ(3*35),км								
4. Силовий трансформатор ТМ630/10	6	0,3 3	60	118,8	12	4,5	324	147,6
5.Батарея конденсаторів ККУ-0,4-200/10-25-21УЗ	4	1	20	80	12	8,4	403,2	204,2
6.Батарея конденсаторів ККУ-0,4-15/6-2,5-21УЗ	4	1	20	80	12	8,4	403,2	204,2
7.Батарея конденсаторів ККУ-0,4-120/12-10-21УЗ	4	1	20	80	12	8,4	403,2	204,2
8.Батарея конденсаторів ККУ-0,4-150/8-10-21УЗ	2	1	20	40	12	8,4	201,6	102,1
9.Батарея конденсаторів ККУ-0,4-45/9-5-21УЗ								
Всього				438,8			1332	1198,1

Потреба в ремонтному персоналі визначається за формулою:

$$N_{\text{ПР}} = \frac{T_{\text{ПР}}}{\Phi_{\text{Д}} * K_{\text{ВН}}}, \quad (4.3)$$

де  $\Phi_{\text{Д}}$  – дійсний фонд робочого часу за рік,  $\Phi_{\text{Д}}=1850-1900$  год;

$K_{\text{ВН}}$  - коефіцієнт виконання норм,  $K_{\text{ВН}}=1,1$  – для ремонтного персоналу та

$K_{\text{ВН}}=1,05$  – для експлуатаційного,

$$N_{\text{ПР}} = \frac{438.8}{1850 * 1,1} = 0,215 \text{ людини.}$$

Отриманий результат заокруглимо до цілого числа і приймемо до уваги те, що ряд робіт по ремонту електрообладнання у відповідності з правилами безпеки повинні виконувати двоє людей [10].

Приймемо кількість ремонтного персоналу 2 чол.

Розрахуємо потребу в експлуатаційному персоналі:

$$N_{\text{обсл}} = \frac{T_{\text{огл}} + T_{\text{то}}}{\Phi_{\text{Д}} * K_{\text{вн}}} = \frac{1332 + 1198,1}{1850 * 1,05} = 1,3 \text{ людини.} \quad (4.4)$$

Приймаємо кількість експлуатаційного персоналу 2 чоловіки.

## 4.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Визначимо річний фонд прямої заробітної плати для робочих, що зайняті на роботах з експлуатації та обслуговуванні електрообладнання та мереж

$$\Phi_{\Pi} = N_{\text{обс}} \cdot \beta_{\text{в}} \cdot t_{\text{ч.е}} \cdot \Phi_{\text{д}}, \quad (4.5)$$

де  $\beta_{\text{в}}$  - коефіцієнт використання річного номінального фонду робочого часу,  $\beta_{\text{в}} = 0.9$ ;

$t_{\text{ч.е}}$  - годинна тарифна ставка, що відповідає середньому тарифному розряду експлуатаційних робочих, що дорівнює 15 грн/год.

$$\Phi_{\Pi} = 2 * 0,9 * 15 * 1850 = 49950 \text{ грн.}$$

Річний фонд прямої заробітної плати для робочих, що виконують поточний ремонт електрообладнання та електромереж

$$\Phi_{\text{в}} = T_{\text{пр}} \cdot t_{\text{г.в}}, \quad (4.6)$$

де  $t_{\text{ч.в}}$  - годинна тарифна ставка відрядників, що відповідає середньому розряду ремонтних робіт,  $t_{\text{г.в}} = 20,5$  грн/год.

$$\Phi_{\text{в}} = 2 * 690,2 * 20,5 = 28298,2 \text{ грн.}$$

Фонд основної заробітної плати:

- на експлуатацію та обслуговування

$$\Phi_{\text{о.п}} = \Phi_{\Pi} (1 + 0,05 + 0,01 + \alpha),$$

де 0.05 (5%) - доля доплат за роботу в нічний час;

0.01 (1%) - доля доплат за роботу в святкові дні;

$\alpha$  - доля преміальних доплат,  $\alpha = 0,2$ ,

$$\Phi_{o.п} = 49950 (1+0,05+0,01+0,2) = 62937 \text{ грн};$$

- на поточний ремонт електрообладнання та мереж

$$\Phi_{o.в} = \Phi_{в} (1+0,05+0,01+\alpha) = 28298,2(1+0,05+0,01+0,2) = 35655,7 \text{ грн.}$$

Величина сумарного фонду заробітної плати з врахуванням додаткової заробітної плати:

$$\Phi_{об.п} = 62937 \cdot (1 + 0,075) = 67657,2 \text{ грн/рік};$$

$$\Phi_{об.в} = 35655,7 \cdot (1 + 0,075) = 38329,9 \text{ грн/рік},$$

де  $0,075$  = доля додаткової заробітної плати.

Врахувавши нарахування на заробітну плату (фонд соціального страхування - 4%; фонд зайнятості - 1.5%; пенсійний фонд - 32%), визначимо витрати підприємства на заробітну плату робітникам, що забезпечують експлуатацію та обслуговування електрообладнання та ремонтному енергоперсоналу

$$C_{зп.т.о} = \Phi_{об.п} (1+0,04+0,015+0,32+) = 139543,1 \text{ грн};$$

$$C_{зп.п.р.} = \Phi_{об.в} (1+0,04+0,015+0,32+) = 52703,6 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок витрат підприємства на матеріали, що потрібні на всі види ремонтів та технічне обслуговування електрообладнання та електромереж

Розрахунок потреби кількості основних матеріалів для всіх видів ремонтів та технічного обслуговування виконаємо на основі норм витрат матеріалів. В системі ППРОСПЭ витрати матеріалів, віднесені на 100 люд.-год трудомісткості ремонтів, включаючи і технічне обслуговування. Розрахунок виконаємо в табличній формі, таблиця 4.2.



Таблиця 4.2 – Розрахунок потреби кількості основних матеріалів

Назва матеріалу	Ціна, грн	Норма витрат на 100люд.-год	Вартість матеріалу, грн
<b>Силові трансформатори</b>			
Сталь сортова, кг	33,3	6	200
Припой олов'яно-свинцевий, кг	409,6	0,02	8,2
Припой мідно-фосфористий, кг	129,5	0,03	3,9
Електроди, кг	77,2	0,15	12
Кріпильні вироби, кг	69,2	2,0	138
Провід, м	130,7	0,5	653
Мідь/алюміній (голий), кг	145,3	62	9009
Картон електроізоляційний, кг	54,8	1,4	77
Кабельна бумага, кг	48	0,6	29
Лакотканина, м	101,0	0,2	20,2
Стрічка кіперна, кг	328	40	13120
Стрічка асбестова, електроіз. кг	9,2	0,05	0,46
Лак ізоляційний, кг	47,6	1,5	71,4
Емалі ґрунтові, кг	59,4	2,5	89,1
Масло трансформаторне, кг	36	0,58	20,9
Бензин, кг	300	0,7	210
Розчинник, кг	98,9	0,8	79
Маслостійка гума, кг	121	0,4	48,4
Гума профільна, кг	121	0,13	16
Шнур кручений, м	101,2	0,3	30,4
Обтирочний матеріал, кг	72	0,4	29
<b>ВСЬОГО</b>			<b>23077</b>
<b>Кабельна лінія</b>			
Сталь сортова, кг	166	2	332
Електроди, кг	77,2	0,1	7,7
<b>ВСЬОГО</b>			<b>340</b>

Вартість матеріалів для поточного ремонту:

$$C_{M \text{ ПР.}} = 0,01 \sum_{i=1}^f T_{\text{п.р.}i} \sum_{j=1}^g m_{\text{п.р.}i} \dots \dots j, \quad (4.7)$$

де  $f$  - кількість груп обладнання та мереж;

$T_{\text{п.р.}i}$  - трудомісткість поточного ремонту для  $i$  групи;

$g$  - число різновидності матеріалів;

$m_{прj}$  - норма витрати  $j$ -го виду матеріалу на 100 люд.-год. трудомісткості поточного ремонту;

$\Pi_{mj}$  - ціна одиниці матеріалу, грн.

$$C_{МПР} = 0,01 [39,6 * 23077 + (81 + 57,8 + 12 + 47) * 340] = 9819 \text{ грн.}$$

Планова вартість матеріалів для технічного обслуговування

$$C_{М.Т.О.} = 0.01 \sum_{i=1}^f T_{Т.О.i} \sum_{j=1}^g m_{прj} \cdot \Pi_{mj}, \quad (4.8)$$

де  $T_{Т.О.i}$  - трудомісткість технічного обслуговування для всієї  $i$ -ої групи.

$$C_{МТО} = 0,01 [147,6 * 2 * 23077 + 180 * 2 * 340] = 68932 \text{ грн.}$$

Витрати на обслуговування

$$C_{обс} = C_{зп.т.о} + C_{М.Т.О.} = 139543,1 + 68932 = 208475,1 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт

$$C_{п.р.} = C_{зп.п.р} + C_{М.п.р} = 52703,6 + 9819 = 625226 \text{ грн.}$$

#### 4.4 Визначення амортизаційних відрахувань та інших витрат

Амортизаційні відрахування визначимо за формулою

$$C_a = \sum_{i=1}^f P_{ai} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де  $P_{ai}$  - норма амортизаційних відрахувань для  $i$ -ої групи;

$K_i$  - капітальні вкладення в  $i$ -ту групу обладнання системи електропостачання.

$$C_a = [0,043 * 4670,53 * 1,7 + 0,064(2276,2 + 2276,2 + 2505,8)] * 10^3 = 793 * 10^3$$

грн.

Інші витрати (витрати на допоміжні матеріали, послуги виробничим підрозділам підприємства, частина загально - заводських витрат) приймають в розмірі 25-30% від суми витрат на обслуговування, поточний ремонт та амортизацію

$$C_i = 0,25(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a) =$$

$$= 0,25 (208475,1 + 625226 + 793000) = 406675,2 \text{ грн}$$

Таблиця 4.3 – Кошторис різних поточних витрат

Найменування статей	Втрати, грн	% до підсумку
Затрати на експлуатацію електро-обладнання та мереж	208475,1	10,2
Поточний ремонт	625226	30
Амортизаційні відрахування	793000	38
Інші витрати	406675,2	19
<b>ВСЬОГО</b>	<b>2033376</b>	

#### 4.5 Розрахунок плати за електроенергію

Величина корисно спожитої електроенергії на підприємстві за рік

$$\mathcal{E}_a = P_p T_m = 1591,7 * 3000 = 4775100 \text{ кВт*год.} \quad (4.10)$$

Розрахуємо величину втрат електроенергії в лініях 10 кВ.

$$\Delta \mathcal{E} = 7497 \text{ кВт*год}$$

Втрати потужності в трансформаторах

$$\Delta P_T = 32,96 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо величину втрат електроенергії в трансформаторах.

$$\Delta \mathcal{E}_T = \Delta P_{mp} * \tau = 32,96 * 2000 * 10^{-3} = 65920 \text{ кВт*год.} \quad (4.11)$$

Загальна потреба підприємства в електроенергії

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_a + \Delta \mathcal{E}_л + \Delta \mathcal{E}_T = 4775100 + 7497 + 65920 = 4848517 \text{ кВт*год.}$$

Плата за електроенергію, що спожита підприємством. Тариф на електроенергію становить 2,75 грн/кВт\*год [ ].

$$\mathcal{C} = C_0 * \mathcal{E} = 2,75 * 10^{-3} * 4848517 = 13333421 \text{ тис грн.} \quad (4.12)$$

#### 4.6 Собівартість електроенергії

Собівартість однієї корисно спожитої кіловатт години електроенергії розраховується за формулою:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{\mathcal{E}_a}, \quad (4.13)$$

де  $C_{\text{сум}}$  - загальні втрати підприємства на електроенергію за рік,

$$C_{\text{сум}} = \mathcal{C} + C_n = 13333421 * 10^3 + 2033,376 * 10^3 = 13335454,9 * 10^3 \text{ грн;}$$

$$S = \frac{13335454,9 * 10^3}{4775100} = 2,79 \text{ грн/кВт*год.}$$

#### 4.7 Висновки до розділу 4

1. За умови, що тариф на електроенергію 2,75 грн/кВт\*год, собівартість електроенергії для ДП «45 експериментальний завод» становить 2,79 грн/кВт\*год.

## РОЗДІЛ 5.

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В магістерській випускній роботі розроблена система електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод». На підприємстві в цеху №1 при виконанні робіт згідно ГОСТ 12.0.002-80 існують такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори у відповідності з прийнятою класифікацією (ГОСТ 12.0.003-74):

фізичні:

- рухомі машини та механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- підвищений рівень шуму на робочому місці(в цехах);
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухливість повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень запиленості повітря робочої зони;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може статись через тіло людини;

психофізіологічні:

- нервово психічні перевантаження ( монотонність роботи);
- фізичні перевантаження (динамічні).

### 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Згідно ГОСТ 12.0.003-74 повинні виконуватись наступні правила електробезпеки:

Для запобігання ураженню людей електричним струмом під час експлуатації електрообладнання, що знаходиться в цеху вимагається неухильне виконання таких умов:

- електроустановки зазначеного цеху повинні задовольняти вимоги ПВЕ та інших нормативних документів.
- Електропостачання і підключення до джерел живлення електроенергією слід виконувати на основі вимог для будівель і споруд усіх типів.
- Ввідно-розподільчі пристрої електропостачання повинні мати вторинне заземлення з опором не більше 3 Ом;
- Підключення по КЛ-0.4 кВ слід виконувати згідно з вимогами розділу ПВЕ.
- Силове електрообладнання має відповідати вимогам розділу ПВЕ.
- Електричне освітлення має відповідати вимогам розділу ПВЕ.
- Електропроводки мають відповідати вимогам розділу ПВЕ.

Перед введенням нового електрообладнання в експлуатацію, а також після проведення ремонтних робіт, електроустановки вище вказаного цеху проходять технічний огляд та випробування в обсязі, що передбачається главою 1.8 ПВЕ та главою Е 2.13ПТЕ електроустановок.

Генеральний план підприємства розроблений у відповідності з вимогами безпеки праці та санітарно – гігієнічними нормами. Вони передбачають запобігання можливості виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Враховується також природне освітлення та провітрювання і ін. Виробничі споруди , в згідності з діючими нормами та правилами , можуть мати різну форму та розмір , які повинні забезпечити добрі санітарно – гігієнічні та безпечні умови праці.

У цехах передбачається створення належного температурного режиму, який забезпечує необхідні санітарно-гігієнічні норми праці.

Належну освітленість робочого місця як природнім, так і штучним освітленням дозволяє забезпечити наявність віконних проїомів та світильників.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Генеральний план заводу розробляється згідно з вимогами безпеки праці та санітарно-гігієнічними. Вони передбачають запобігання можливості виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Враховуються природне освітлення та провітрювання.

Ділянка підприємства, окремі будівлі з технічними процесами, є джерелами виділення шуму вищих встановлених нормами рівнів для жилої будівлі вибираються з повітряної сторони для вітрів переважного напрямлення.

Особи, на яких впливає в процесі трудової діяльності шум, підлягають періодичним медичним оглядам.

На виробництві встановлюється санітарно-захисну зону розміром 50 м.

Допоміжні приміщення слід розміщувати в прибудовах до виробничих будівель в місцях з найменшим впливом небезпечних та шкідливих факторів. Висота допоміжних будівель повинна бути не менше як 2,4 м. У групу санітарно-побутових приміщень входять гардеробні, вбиральні, умивальні, курильні кімнати, приміщення для особистої гігієни, приміщення для обігрівання працівників та ін.

При організації робочого місця та визначенні робочих операцій необхідно керуватись принципами економії руху, які сприяють збільшенню виробничої праці та знижують втомленість, зменшують кількість похибок та травм.

### 5.2.1 Мікроклімат

Для підвищення працездатності і збереження здоров'я важливо створити для людини стабільні метеорологічні умови – мікроклімат повітряного середовища, що складається з температури, відносної вологості, швидкості руху повітря та інтенсивності теплового випромінювання. Оптимальні показники мікроклімату розповсюджуються на всю робочу зону приміщення, допустимі – на постійні і непостійні робочі місця робочої зони. Допустимі показники

встановлюються у випадку, коли по технологічним, технічним та економічним причинам неможливе забезпечення оптимальних показників. Роботи на ділянках в основному відносяться до фізичних робіт середньої важкості (категорії Пб).

Пб – роботи, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням, перенесенням вантажів до 10 кг і супроводжуються помірним фізичним напруженням (енерговитрати організму 200-250 ккал-год (232-293 Дж/с)).

Відповідно до вищенаведеного отримуємо такі нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничого приміщення (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Категорія робіт	Температура, °C		Відносна вологість	Швидкість руху кисню, м/с
		Допустима на робочих місцях			
		Постійних	Непостійних	Допустима на постійних та непостійних робочих місцях	Допустима на постійних та непостійних робочих місцях
Теплий	Середньої важкості Пб	16-27	15-29		
Холодний	Середньої важкості Пб	15-21	13-23	75	не більше 0,4

Для забезпечення мікроклімату проектом передбачені такі рішення:

- необхідно забезпечувати допустимі температури повітря для різної пори року. Для цього встановлюються пристрої для кондиціонування повітря влітку та нагріву – зимою. Також важливо визначити температуру навколишнього повітря;
- у теплий період року допускається підвищення температури повітря на постійних і непостійних робочих місцях до 30-31 °C .



### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично-допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м<sup>3</sup>.

В умовах, які розглядаються, забруднювачем повітря може бути нетоксичний пил. Його ГДК відповідно дорівнює: максимальна разова 0,5 мг/м<sup>3</sup>; середньодобова 0,15 мг/м<sup>3</sup>.

Для забезпечення складу повітря робочої зони проектом передбачене таке рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановлені безпосередньо на ділянках біля обладнання і з яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Особлива увага приділяється освітленню виробничих приміщень.

Природне освітлення нормується коефіцієнтом природного освітлення – (КПО) або  $e_N$ :

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (5.1)$$

де  $e_N$  – значення КПО,  $e_N = 2$  згідно розряду зорових робіт (III)

$m$  – коефіцієнт світлового клімату, згідно з ДБН В.2.5-28-2006  $m=0,9$ ;

Орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту на північ.

$$e_N = 2 \cdot 0,9 = 1,8 \% \quad (5.2)$$

На даних ділянках передбачено систему загального освітлення. Також на даному об'єкті передбачається аварійне освітлення.

Система освітлення, що проектується, повинна забезпечувати норму освітленості. Роботи у розрахунковому цеху відносяться до IIIв розряду зорових робіт, тому норма загальної освітленості становить 300 лк, а комбінованої – 750 лк.

Таблиця 5.2 – Вибір ламп денного світла

Дільниця	Тип лампи	Габарити	Номінальна потужність лампи, $P_{\text{ном}}$ , Вт	Розрахунковий світловий потік, $\Phi$ , лк
Механічні майстерні	УПДДРЛ	446×590	700	35000

Аварійне освітлення повинно створювати на поверхнях, що вимагають обслуговування, освітленість 5% від нормованої від загального освітлення. Тому в розрахунковому цеху норма аварійної освітленості становить 15 лк.

Таблиця 5.3 – Вибір ламп аварійного освітлення

Дільниця	Тип лампи	Габарити	Номінальна потужність лампи, $P_{\text{ном}}$ , Вт	Розрахунковий світловий потік, $\Phi$ , лк
Цех фасування олії	ДРЛ	446×590	700	35000

Таблиця 5.4 – Вибір світильників

Тип світильника	Кількість ламп	Номінальна потужність лампи, Вт	Довжина, мм	Ширина, мм
УПДДРЛ	1	700	446	590

Світильники УПДДРЛ мають косинусну криву розподілення сили світла.

Для забезпечення виробничого освітлення проектом передбачені такі рішення:

- встановлення світильників типу УПДДРЛ згідно з санітарними нормами;
- живлення робочого і аварійного освітлення в нормальному режимі здійснюється від різних джерел.

#### 5.2.4 Виробничий шум

Шум являє собою хаотичне поєднання звуків різної частоти і інтенсивності, і є одним з найбільш розповсюджених факторів зовнішнього середовища. Звук є хвильовим коливанням пружного середовища, при якому виявляється залишковий тиск. Цей залишковий тиск завдяки пружності оточуючого повітря передається від одного шару повітря до іншого. Викликаючи цим появу звукових хвиль.

При розповсюдженні звукової хвилі, частина повітря виконує коливання біля положення рівноваги. Діапазон відчутних частот звуку лежить в межах 20-2000 Гц. Дія шуму на людину може викликати різні загально-біологічні подразнення, патологічні зміни, функціональний розлад і механічні пошкодження. Тривала дія інтенсивного шуму може викликати погіршення слуху людини, втому, появу професійних захворювань, а при рівнях 120-140 дБ спроможний викликати механічний розлад слухового апарату. Також шум може впливати на інші системи: серцево-судинну систему, погіршення тону, роботи шлунку і т.п.

Допустимий рівень шуму для постійних робочих місць і робочих зон у виробничих приміщеннях і на території підприємства дорівнює 75дБ. При перевищенні цих вимог для конкретних приміщень передбачені загороджуючі екрани у машин, які є основними збудниками шуму, а також звукоізолюючі стіни і перегородки між цехами.

Нормуються допустимі рівні звукового тиску:

$$L=20(P_1/P_0), \text{ дБ} \quad (5.3)$$

де  $P_1$  – середньоквадратичне значення звукового тиску, Па, за період часу, що розглядається;

$P_0$  – значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньо геометричною частотою 1000 Гц.

Нормуються допустимі рівні звукового тиску залежно від частоти, характеру робіт і характеру шуму ( нормування за граничними спектрами ГС).  
Або нормуються допустимі рівні звуку:

$$L=20\lg(P_A/P_0), \text{ дБа} \quad (5.4)$$

де  $P_A$  – середньоквадратичне значення звукового тиску з урахуванням корекції А шумоміра.

Нормуються допустимі рівні звуку залежно від характеру робіт і характеру шуму.

У цеху металовиробів шум є постійним, по походженню механічний. Шум погіршує точність виконання робочих операцій, ускладнює прийом та сприйняття інформації, зменшує продуктивність праці, збільшує брак в роботі, створює передумови до виникнення нещасних випадків.

Таблиця 5.6 – Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у виробничих приміщеннях на території підприємства.

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБа
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях У виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні передбачено:

- приміщення, в яких розміщуються такі установки відгороджуються від інших приміщень перегородками;
- вентиляційні установки, які є основними джерелами шуму встановлені на віброізолюючих амортизаторах і окремих фундаментах;

У більшості цехів для виключення випадків перевищення допустимого рівня шуму необхідно регулярно здійснювати контроль роботи обладнання, яке

шумить, і своєчасно усувати недоліки, що викликають підвищення рівня шуму під час роботи обладнання.

### 5.2.5 Виробничі вібрації

Нормуються допустимі величини віброшвидкості (м/с) чи віброприскорення (м/с<sup>2</sup>), або логарифмічні рівні віброшвидкості:

$$L=20\lg(V_1/V_0), \text{ дБ} \quad (5.5)$$

де  $V_1$  - середньоквадратичне значення віброшвидкості за повний період часу, м/с;

$V_0$  - 5-10 м/с – вихідне значення віброшвидкості.

У розрахунковому цеху, в основному, має місце локальна вібрація, яка викликає різні ступені судинних, нервово - м'язових, кістково суставних та інших порушень. Спазми судин починаються з кінцевих фаланг пальців і розповсюджуються на всю кисть, передпліччя і судини серця.

Таблиця 5.7 – Допустимі рівні локальної вібрації на постійних робочих місцях

Октавні полоси з середньо-геометричними частотами, Гц									
2		8	16	31,5	63	125	250	500	1000
–		1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
		115	109	109	109	109	109	109	109

Примітка: у чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, 10<sup>-2</sup> м/с, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Відповідно до вимог "Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів" передбачено заходи по зниженню виробничих шумів і вібрацій від робочого обладнання.

Для зменшення дії вібрації на працюючих проектом передбачено:

вентиляційні установки, які є основними джерелами вібрації, встановити на віброізолюючих амортизаторах і окремих фундаментах;

- використання гнучких вставок між вентиляторами та газоходами;
- вибір оптимальних швидкостей руху повітря і теплоносія.

### 5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Відповідно до стандартного визначення, пожежа – це неконтрольований процес горіння поза спеціальним вогнищем, яке наносить матеріальний збиток.

Монтажно-штампувальний цех відноситься до приміщень категорії Д. Ступінь вогнестійкості корпусу – IV.

Таблиця 5.8 – Категорії приміщень за вибухо- та пожежонебезпекою

Категорія приміщення	Характеристика речовин та матеріалів, що знаходяться у приміщенні
Д	Негорючі речовини і матеріали у холодному стані

Таблиця 5.9 – Конструктивні характеристики будівлі в залежності від ступеня вогнестійкості

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні характеристики
IV	Будівлі з несучими і відгороджуючими конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. У покриттях будівель допускається застосування незахищених сталевих конструкцій

Мінімальні межі вогнестійкості для будівлі ступеня вогнестійкості IV наведені у таблиці 5.10.

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

В приміщенні, що проектується, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, до  $1 \text{ чол/м}^2$  не обмежується.

Таблиця 5.10 – Мінімальні межі вогнестійкості та мінімальні межі розповсюдження полум'я по будівельних конструкціях цеху №.1

Стіни				Колони	Драбинні площадки	Плити, інші несучі конструкції	Елементи покриття	
Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити	Балки, арки, рами
$\frac{1}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{25}$	$\frac{0.25}{0}$

Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів показана в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів

Об'єм приміщення, тис. $\text{м}^3$	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини Евакуаційного виходу (дверей)
8000	Г	IV	260

На території монтажно-штампувальному цеху встановлено 1 пожежний щит. До комплексу засобів пожежогасіння, які розміщуються в ньому, слід включати: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском – 1шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті  $2\text{м} \times 2\text{м}$  – 1шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт.

Ящик для піску має місткість  $3\text{м}^3$  та укомплектований совковою лопатою. У приміщенні щит розташований у легкодоступному місці, ближче до виходу.

Для визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння потрібно враховувати фізико-хімічні та пожежонебезпечні якості горючих

речовин, їх взаємодію з вогнестійкими речовинами, а також розміри площ приміщень підприємства, відкритих площадок та установок.

Пожежна безпека повинна забезпечуватись системою протипожежного захисту, протипожежними організаційно – технічними заходами:

- паспортизація горючих речовин;
- організація навчання працівників правилам пожежної безпеки;
- розробка заходів по діям адміністрації працівників на випадок виникнення пожежі;
- виготовлення і застосування засобів пожежної сигналізації по забезпеченню пожежної безпеки;
- при зберіганні, перевірці, видачі для роботи і експлуатації приладів і знарядь повинні виконуватись правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок;
- струмоведучі частини повинні бути ізольовані, огороженні чи розміщені в місцях недоступних дотику людини;
- пристрої РЗА повинні бути постійно ввімкнені, крім пристроїв, які повинні виводитися з роботи згідно їх призначення і принципу дії, режимом роботи енергосистеми і умовами селективності;
- пристрої аварійної та попереджувальної сигналізації повинні бути завжди готові до дії;
- в експлуатації повинна бути забезпечена нормальна робота апаратури релейного захисту;

На території підприємства постійно підтримується порядок і чистота, вчасно видаляється сміття, відходи виробництва у встановлені місця; дороги, проїзди, під'їзди до будинків повинні справні, вільні; між будинками і спорудженнями зберігаються протипожежні розриви; забезпечений вільний доступ до засобів пожежегасіння, гідрантам, стаціонарним пожежним східцям, пожежної сигналізації.

Обов'язково регулярно очищуються тунелі із трубами водяного і парового опалення, вентиляційні шахти; вчасно очищуються від нагару димарі, періодично



перевіряються на справність і надійність заземлення, занулення, грозозахист виробничих будинків, пожежо- та вибухонебезпека помешкань.

#### 5.4 Висновки до розділу 5

Висновки. В даній частині дипломної роботи був проведений аналіз безпеки життєдіяльності на підприємстві, проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори, які впливають на робочий персонал цеху. Встановленні технічні рішення що до безпечної експлуатації об'єкта, системи запобігання пожежі, гігієни праці та виробничої санітарії.

В умовах дії іонізуючого випромінювання система електропостачання залишається стійкою. Тому іонізуюче випромінювання для обладнання не є таким небезпечним, як для обслуговуючого персоналу. Для нормальної роботи об'єкта під час аварій з такими наслідками, як іонізуюче випромінювання, потрібно розраховувати робочі зміни для обслуговуючого персоналу з врахуванням їх допустимої дози опромінення.

Після проведених розрахунків визначено, що робота системи автоматики стійка при заданому рівні радіації 4,37 Р/год. До дії ЕМІ система управління і автоматики СЕП виявилась нестійкою. Застосування екранування систем управління і автоматики СЕП суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 10,83 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії ЕМІ є зменшення струмопровідних провідників (їх довжини) шляхом вдосконалення схемокомпоновки елементів управління та автоматики СЕП. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали електронні схеми на період впливу ЕМІ.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Система електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод» розроблена з використанням сучасних проектних методик і відповідає вимогам ПУЕ.

2. Система електропостачання, що спроектована, забезпечує вимоги надійності електропостачання споживачів другої категорії.

3. Обрана схема електропостачання забезпечує надійне та безперебійне живлення електроенергією всіх електроприймачів підприємства, що підтверджено відповідними розрахунками.

4. В системі електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод» можуть мати місце випадки, коли рішення по управлінню БСК, отримане за їх номінальними параметрами, виявляється недопустимим. Тому рішення по визначенню керуючого впливу необхідно приймати виходячи з реальних потужностей ступенів БСК (потужностей, що відповідають реальній напрузі на БСК) та ефекту післядії ввімкненої потужності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М. Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. / М. Й. Бурбело Навчальний посібник з дисципліни «Електропостачання». – Вінниця: ВДТУ. 2002. – 140с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 576 с.
3. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. / Под общ. ред. А.А.Федорова и Г.В. Сербиновского. Кн.2. Технические сведения об оборудовании. – М.: Энергия, 1974. – 528 с.
4. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков– М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
5. [www.ukrelektroapparat.km.ua](http://www.ukrelektroapparat.km.ua) ВАТ “УКРЕЛЕКТРОАПАРАТ” Силові трансформатори, трансформаторні підстанції, камери розподільних пристроїв
6. Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - Х .: Міненерговугілля України, 2014.
7. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання / В. Г. Рудницький – Київ Освіта України , 2013. – 286 с
8. ГОСТ 13109-97.Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения
9. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – .М.: ЭААС, 2009. – 456 с. – ISBN 978-5-93196-958-9.
10. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф. та інші Основи охорони праці. / М.П. Купчик, М.П.Гандзюк, І.Ф. Степанець та інші – К.: Основа, 2000. – 416 с.
11. ООО Енера Вінниця. Тарифи на електроенергію. Режим доступу: <https://vin.enera.ua/>.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ЕСЕЕМд.т.н., проф. Бурбело М.Й. \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

Оптимізація системи електропостачання Державного підприємства «45  
Експериментальний механічний завод», місто Вінниця

**08-17.МКР.014.03.100 ТЗ**

Науковий керівник:

проф. Терешкевич Л.Б. \_\_\_\_\_

(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 18м

Сас В.М. \_\_\_\_\_

(підпис)

Вінниця 2020 р.

## 1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № від 2020 р.

Дата початку роботи 5 вересня 2020 р.

Дата закінчення роботи 10 грудня 2020 р.

## 2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

а) *мета* – оптимізація електропостачання ДП «45 Експериментального механічного заводу» шляхом прийняття оптимальних рішень з кількості та потужності трансформаторних підстанцій, оптимальних перерізів ліній мереж підприємства, визначення оптимальних координат місця установки трансформаторних підстанцій та розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок, що дозволить суттєво поліпшити технічні та економічні характеристики функціонування систем електропостачання ТОВ «Вінницький олійножировий комбінат».

б) *призначення розробки* – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

в) *вихідні дані для виконання МКР*: генплан підприємства (об'єкта); відомості про електричні навантаження підприємства (цеха, об'єкта, дільниці, приміщення); відомості про джерела живлення, їх віддаленість; графіки електричних навантажень (для діючого підприємства, енергетичного району); основні техніко-економічні показники.

## 3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

3.1 Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад. Л. Б. Терешкевич, О. Д. Демов, Ю. А. Шулле. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 28 с.

3.2 Правила улаштування електроустановок. - 5-те вид., переробл. й доповн. - X .: Міненерговугілля України, 2014.

3.3. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків».- Вінниця: ВНТУ, 2005р.

3.4. Демов О. Д. «Економія електроенергії на промислових підприємствах».- Вінниця: ВНТУ, 2006р.

#### 4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	10.10.2020
2	Оптимізація системи електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод»	30.10.2020
3	Компенсація реактивної потужності в системі електропостачання з врахуванням фактичного значення напруги	15.11.2020
4	Економічна частина роботи	30.11.2020
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.12.2020
6	Написання пояснювальної записки	10.12.2020

#### 5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

#### 6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ДЕК.

#### 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ Не передбачається

Додаток Б

**ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ  
ВИПУСКНОЇ РОБОТИ**

ДП «45 Експериментальний механічний завод» живиться від підстанції "Північна" - 110/10 яка знаходиться на відстані 3,2 км, рівні напруг в максимальному та мінімальному режимах навантаження становлять 10,5 кВ та 10 кВ, а потужність короткого замикання 50 МВА.

Підприємство споживає електроенергію по тарифу першого класу – пряме включення комбінату від живлячого центру, тобто від підстанції «Північна» по стороні 10 кВ.

На ДП «45 експериментальний механічний завод» всі електроприймачі споживають трифазний струм промислової частоти 50 Гц на напрузі 380 В.

Генплан підприємства зображено на рис. Д.1, а відомості про виробничі об'єкти підприємства наведені в таблиці Д.1.

Таблиця Д.1 – Відомості про основні виробничі об'єкти підприємства

№ на плані	Назва цеху	Рн, кВт
1	Відділи: технічний та виробничодиспетчерський Дільниця ковальсько-пресова	200
2	Заводоуправління	50
3	Відділення виготовлення деталей із гуми і пластмас	220
4	Компресорна	250
5	Цех №1	200
6	Цех №2	300
7	Склад металу	60
8	Відділення плазмового різання	120
9	Субабонент (об'єкт №1)	40
10	Субабонент (об'єкт №2)	50
11	Субабонент (об'єкт №3)	180



12	Субабонент (об'єкт №4)	120
13	Субабонент (об'єкт №5)	140
14	Субабонент (об'єкт №6)	180

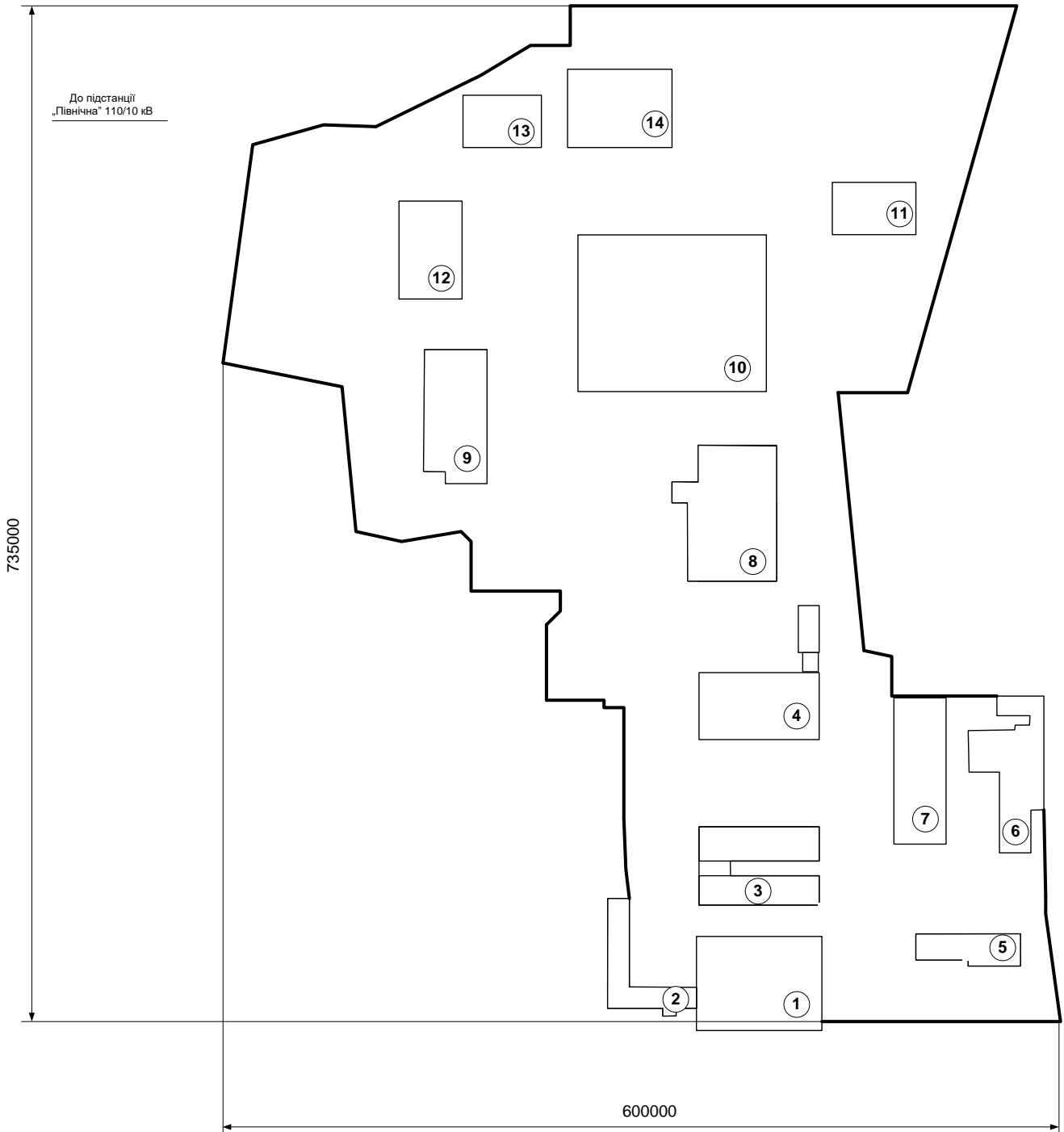


Рисунок Д.1 – Генплан ДП «45 Експериментальний механічний завод»

*Актуальність теми*

В діючій системі електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» до цього часу використовується морально застаріле електрообладнання, а технічні параметри електроапаратів, та електричних мереж в багатьох випадках не відповідають електричним навантаженням, та параметрам як нормальних, так і аварійних режимів. Для промислових мереж підприємства, як і для багатьох інших виробництв, характерним є незадовільний стан якості електроенергії, в наслідок чого виникають збитки, різноманітної природи.

Тому для ДП «45 Експериментальний механічний завод» актуальною технічною задачею є оптимізація системи електропостачання шляхом вибору:

- оптимальної кількості та потужності трансформаторів,
- оптимальних перерізів провідників електричних мереж,
- оптимального розміщення трансформаторних підстанцій,
- оптимальних потужностей пристроїв, які оптимізують електричні режими в системі електропостачання.

***Об'єкт дослідження*** – система електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод».

***Предмет дослідження*** – елементи схеми та електричні режими в системі електропостачання.

***Наукова новизна одержаних результатів.***

Удосконалено електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» шляхом автоматизованого вибору оптимальних потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій, а також розрахунком оптимальних потужностей батарей статичних конденсаторів та прийняття оптимальних рішень з компенсації реактивної потужності.



## Визначення оптимальної потужності цехових ТП

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Вибір оптимальної потужності ЦТП за мінімум затрат														
2	Економічні характеристики														
3	Питома вартість втрат, грн/кВт										Bo =	560,895			
4	Коефіцієнт ефективності капітоловкладень										Ee =	0,1			
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію										Ea =	0,036			
6	ТП1														
7	Дані нормального режиму														
8	Розрахункова потужність ТП, кВА										Sp=	719,01			
9	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	368,49			
10	Кількість трансформаторів										кт=	2			
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі										Кн=	1			
12	Дані післяаварійного режиму														
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі										Кпа =	1,3			
14	Доля навантаження в післяаварійному режимі										Кппа =	0,8			
15															
16	*	St кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн	X	кт*кн*St >=Sc	кпа*St>= кппа*Sp	*
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	83,36199	0,48	83,84199	47,02655	-	-	-	-	
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	50,922	0,66	51,582	28,93208	-	-	-	-	
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	31,3012	1,02	32,3212	18,1288	-	-	-	-	
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	17,37035	1,48	18,85035	10,57306	-	+	-	-	
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	9,531719	1,9	11,43172	6,411994	-	+	-	-	
22	V	630	8,5	1,31	159,53	21,69608	5,535757	2,62	8,155757	4,574523	26,2706	630	+	+	V
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	2,714117	4,2	6,914117	3,878093	29,47737	1000	+	+	
24		1600	18	2,8	234	31,824	1,817489	5,6	7,417489	4,160432	35,98443	1600	+	+	
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	0,971912	7,7	8,671912	4,864032	41,27531	2500	+	+	
26															
27	Мінімальні затрати, грн										Зmin=	26,2706			
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА										St*=	630			
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора										кз*=	0,570642			

## Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

Вибір оптимального перерізу кабельних ліній виконувався за математичною моделлю

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(x) = [(E_e + E_a) \cdot K_0(x) + 3 \cdot I_L^2 \cdot r_0(x) \cdot t \cdot \tau] \cdot L \cdot k_L \rightarrow \min_{x \in X_{cm}} \\ x \geq x_{\partial on} \equiv k_{\partial on} \cdot I_{\partial on}(x) \geq I_L \\ x \geq x_{\partial on} \equiv k_{na} \cdot I_{\partial on}(x) \geq I_L \cdot k_L \cdot k_{nna} \\ \Delta U_n(x) \leq \Delta U_{\partial on} \\ \Delta U_{na}(x) \leq \Delta U_{\partial on} \\ x \geq x_{кз} = \frac{I_{кз} \cdot \sqrt{t_n}}{C} \\ x \in X_{cm} \end{array} \right.$$

Критеріальна функція математичної моделі описує річні приведені затрати

Керована змінна: переріз кабельних ліній (мм<sup>2</sup>).

Множина доступних рішень: множина всіх стандартних перерізів кабельних ліній 10 кВ

# Результати розрахунку оптимальних перерізів

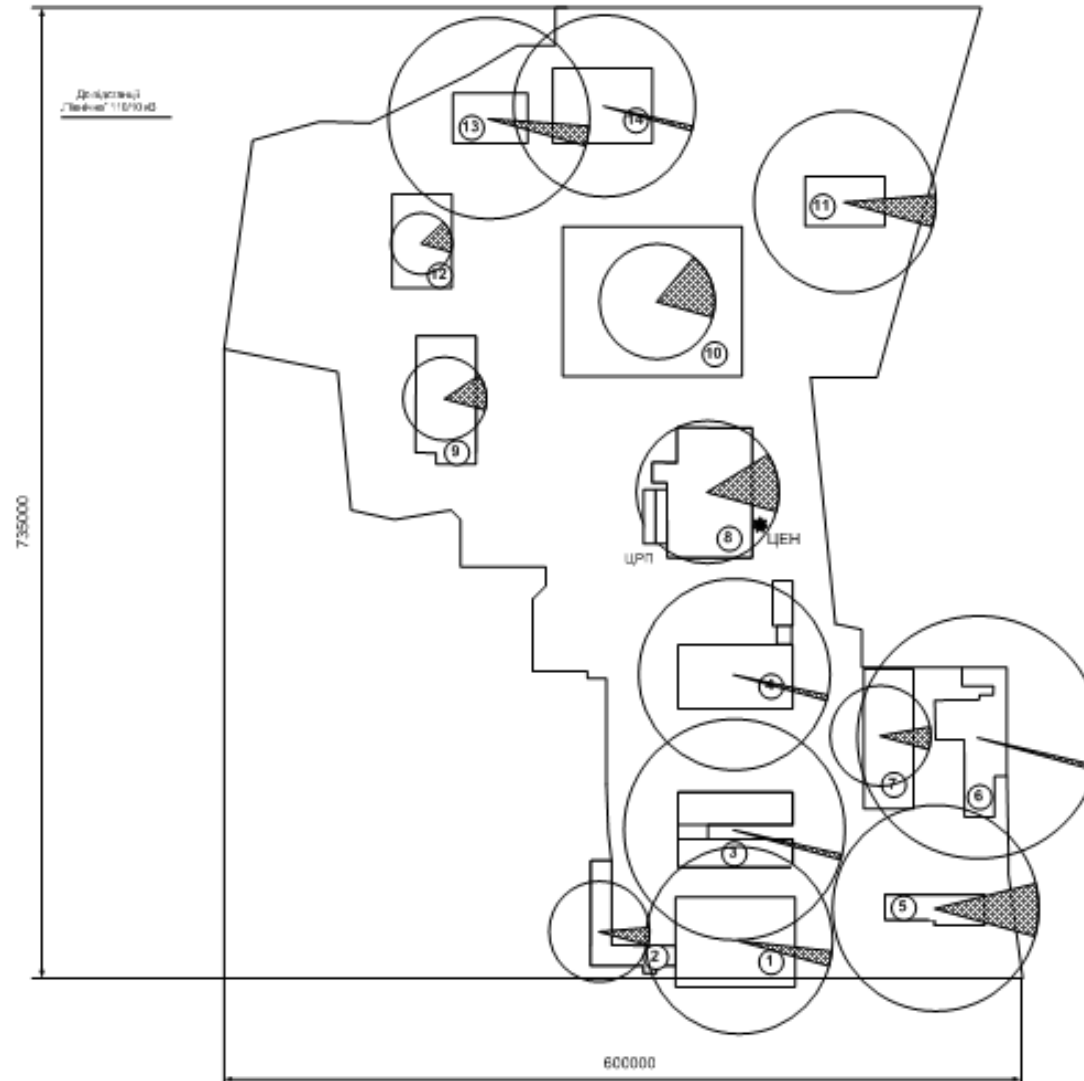
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Вибір оптимального перерізу зовнішньої живлячої КЛ																		
2	Економічні характеристики																		
3	Питома вартість втрат, грн/кВт																Bo=	560,895	
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень																Ee=	0,1	
5	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію																Ea=	0,04	
6	Дані нормального режиму																		
7	Напруга, кВ																U =	10	
8	Активна розрахункова потужність споживача, кВт																P =	1693,9229	
9	Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр																Q =	1334,9167	
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А																Ip =	62,26	
11	Коефіцієнт допустимого навантаження																Kдоп =	1,00	
12	Допустима втрата напруги в КЛ, %																dUдоп =	5	
13	Кількість кабелів																k =	2	
14	Довжина лінії, км																L =	3,2	
15	Дані аварійного режиму																		
16	Струм КЗ на початку лінії, кА																Iкз =	3,0386856	
17	Приведений час КЗ, с																tn =	1,5	
18	Тепловий коефіцієнт C, (A*c^(1/2))/мм^2																C =	90	
19	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2																Fкз =	41,35	
20																			
21	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі																Kпа =	1,25	
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі																Kпап =	0,8	
23	Допустима втрата напруги в КЛ, %																dUпадоп =	5	
24																			
25	F, мм^2	Ro, Ом/км	Xo, Ом/км	Ro, т.грн/км	Iдоп, А	dUn, %	dUpa, %	dP, кВт	K, т.грн	E*K, т.грн	Bв, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	n*Iдоп >= Kпап*k*	dUn <= dUдоп	dUpa <= dUпадоп	F >= Fкз	
26	10	3,1	0,122	9,5381	65	8,66	13,86	230,71	61,04	8,55	129,40	-	-----	+	-	-	-	-	
27	16	1,94	0,113	13,784	75	5,50	8,80	144,38	88,22	12,35	80,98	-	-----	+	-	-	-	-	
28	25	1,24	0,099	19,854	90	3,57	5,72	92,28	127,07	17,79	51,76	-	-----	+	+	+	-	-	
29	35	0,89	0,095	25,953	115	2,62	4,18	66,24	166,10	23,25	37,15	-	-----	+	+	+	+	-	
30	v 50	0,62	0,09	36,927	140	1,87	3,00	46,14	236,33	33,09	25,88	58,97	50	+	+	+	+	+	
31	70	0,443	0,086	50,501	165	1,38	2,21	32,97	323,21	45,25	18,49	63,74	70	+	+	+	+	+	
32	95	0,326	0,083	65,451	205	1,06	1,70	24,26	418,89	58,64	13,61	72,25	95	+	+	+	+	+	
33	120	0,258	0,081	82,823	240	0,87	1,40	19,20	530,07	74,21	10,77	84,98	120	+	+	+	+	+	
34	150	0,206	0,079	102,11	275	0,73	1,16	15,33	653,50	91,49	8,60	100,09	150	+	+	+	+	+	
35	185	0,167	0,077	137,48	310	0,62	0,99	12,43	879,87	123,18	6,97	130,15	185	+	+	+	+	+	
36	Мінімальні затрати, тис.грн											Змін	58,97						
37	Оптимальний переріз КЛ, мм^2											Холт	50						

ЦРП-ТП1	ЦРП-ТП2	ЦРП-ТП3
АСБ(3*35)	АСБ(3*35)	АСБ(3*35)

# Оптимальное место размещения ЦРП предприятия

$$\frac{\sum_{i=1}^{14} (P_{p.i} + P_{p.o.i}) X_i}{\sum_{i=1}^{14} (P_{p.i} + P_{p.o.i})}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{14} (P_{p.i} + P_{p.o.i}) Y_i}{\sum_{i=1}^{14} (P_{p.i} + P_{p.o.i})}$$





## Оптимальна компенсація реактивних навантажень підприємства

Математична модель вибору оптимальної потужності БСК

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_{\Sigma} = \frac{10^{-3}}{U_H^2} \sum_{i=1}^N Q_{ei} * R_{ei} \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^N Q_{ei} = Q_e \\ Q_{pi} = Q_{ei} \end{array} \right.$$

$Q_e = 300$  квар

КТП1:

2×ККУ-0,4-200/10-25-21У3

2×ККУ-0,4-15/6-2,5-21У3

На КТП2:

2×ККУ-0,4-120/12-10-21У3

2×ККУ-0,4-15/6-2,5-21У3

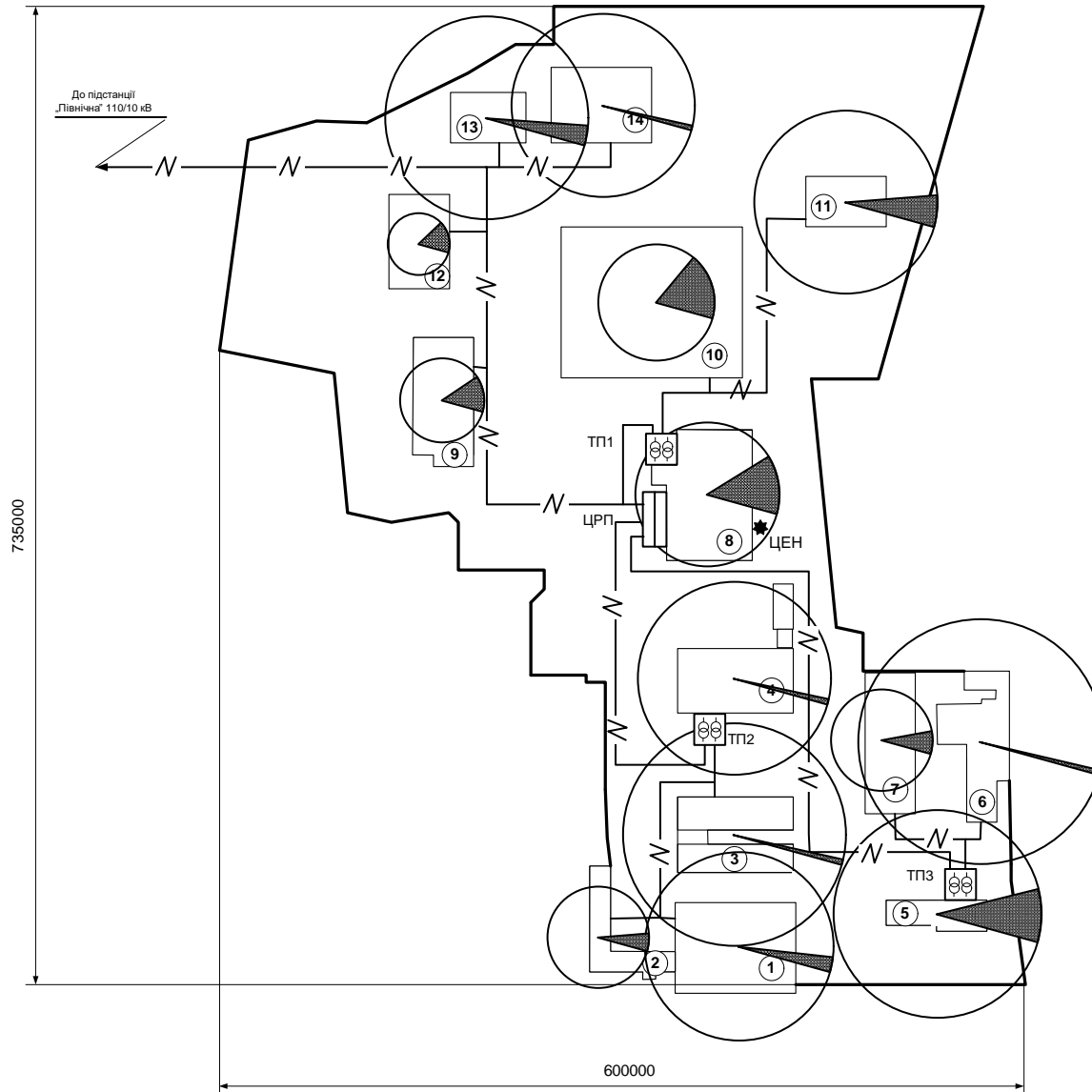
На КТП3:

2×ККУ-0,4-150/8-10-21У3

2×ККУ-0,4-45/9-5-21У3

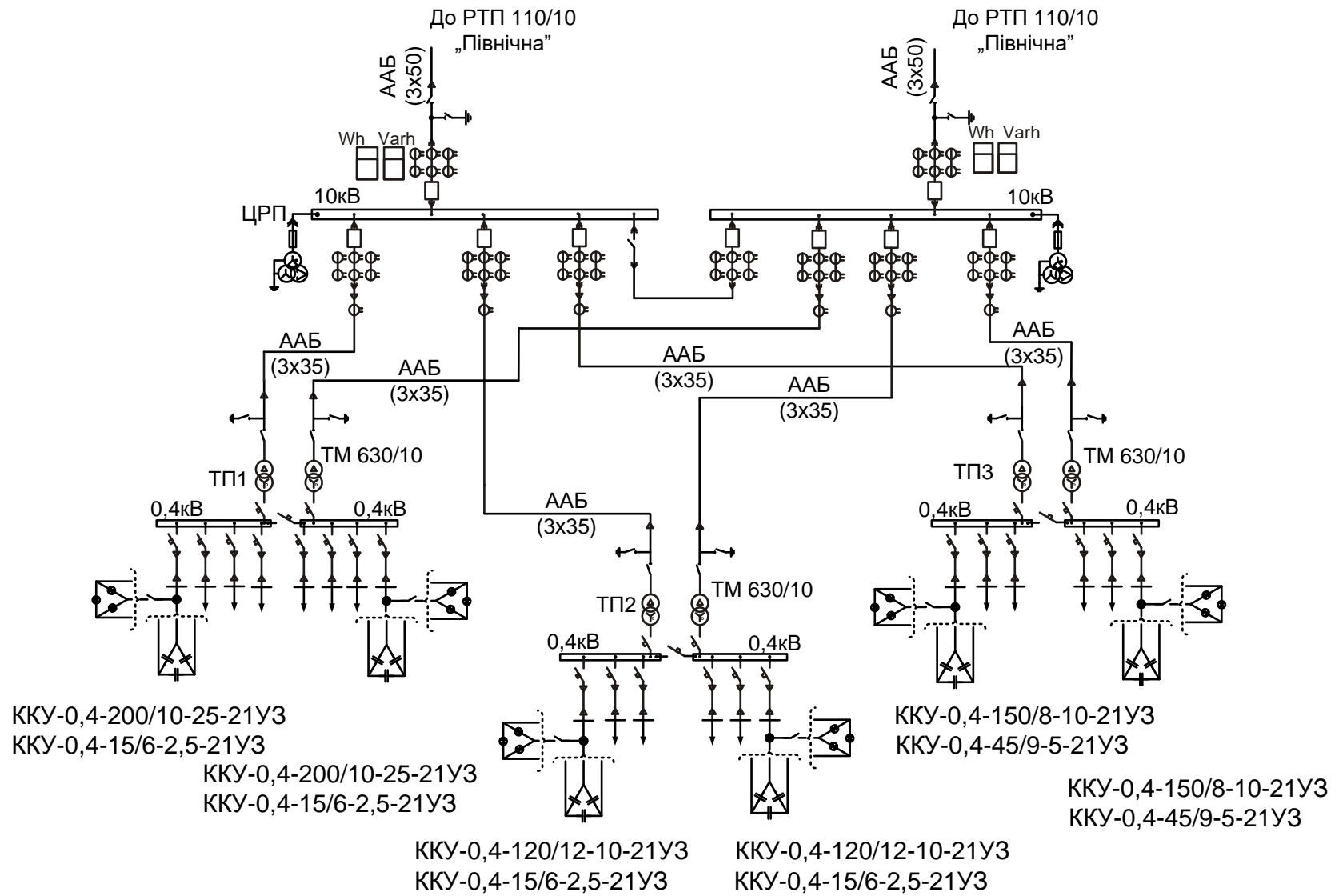
# План підприємства з електричними мережами

9



# Однолінійна схема електропостачання підприємства

10



Залежність потужності БСК від фактичних значень напруги.

$$Q_{\text{к}} = Q_{\text{н}} \cdot \left( \frac{U_{\text{ф}}}{U_{\text{н}}} \right)^2$$

При спадах напруги мережі реактивна потужність БСК, яка генерується, знижується, що призводить до додаткового зниження напруги, при підвищенні напруги – навпаки. В цьому виявляється від'ємний регулюючий ефект БСК

Аналіз наведеного співвідношення свідчить, що вже при відхиленнях напруги в межах  $\pm 5\%$ , що регламентовано ГОСТ 13109-97 потужність ступенів БСК зміниться на  $\pm 10\%$ . Це може призвести до суттєвих неточностей, і, як наслідок, до прийняття недопустимих рішень або до зниження ефективності управління.

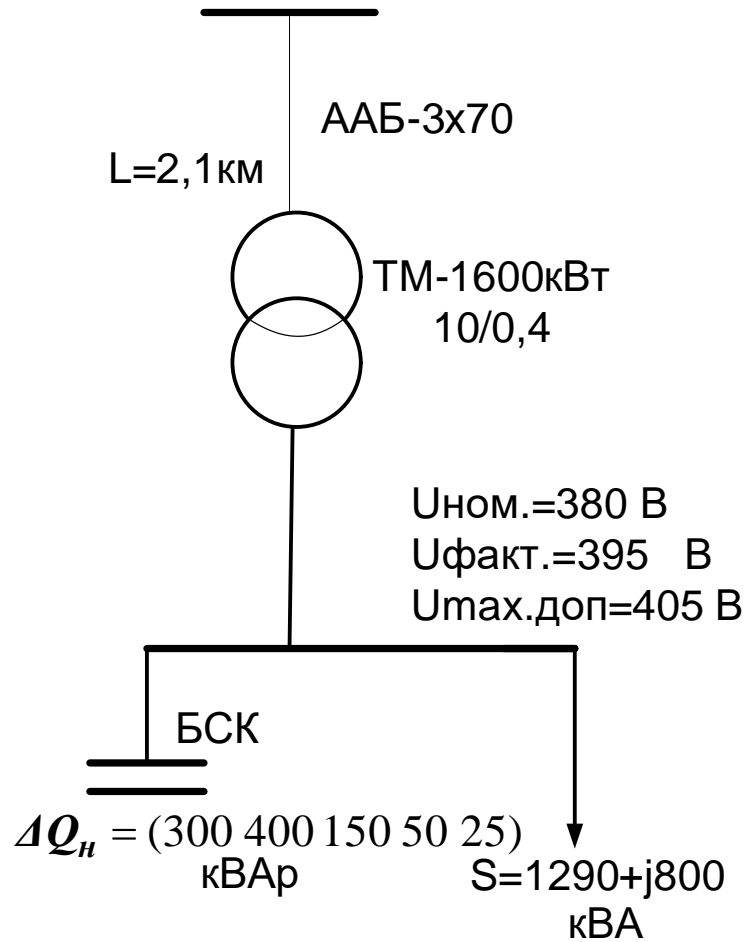
$$\left\{ \begin{array}{l} Q' - \Delta Q(U) \cdot X \rightarrow \min \\ X + \bar{X} = n \\ Q' - \Delta Q(U) \cdot X \geq Q_{\text{доп}} . \\ U' + \Delta U(U) \cdot X \leq U_{\text{max}} \text{ .доп.} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0 \end{array} \right.$$

Математична модель відрізняється від моделей управління БСК тим, що містить коефіцієнти (елементи матриць  $\Delta Q$  та  $\Delta U$ ), що функціонально залежать від рівнів напруги, які в свою чергу залежать від реалізації результатів розв'язування задачі.

Ця обставина потребує розробки алгоритму аналізу для даної математичної моделі.



### Розрахунок тестової задачі



$$\begin{cases}
 800 - (324\ 432\ 162\ 54\ 27) \cdot X \rightarrow \min \\
 X + \bar{X} = n \\
 800 - (324\ 432\ 162\ 54\ 27) \geq 0 \\
 395 + (5,88\ 7,84\ 2,94\ 0,98\ 0,49) \cdot X \leq 405 \\
 x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0
 \end{cases}$$

Алг №	Оптимальний вектор управління	Сумарна потужність секцій БСК, квар		Реактивна потужність вводу, квар		Напруга на збірних шинах, В		Висновок
		Номинальна	Реальна	Що відповідає ном.потужності секцій БСК	Що відповідає реальним потужностям БСК	Що відповідає ном.потужності секцій БСК	Що відповідає реальним потужностям БСК	
1	(0 1 1 0 0)	550	629	250	171	404,9	406,4	Керування <u>недопустиме</u>
2	(0 1 0 1 1)	475	539	325	261	не визначалась	404,8	Керування допустиме

### *Наукова новизна одержаних результатів*

Удосконалено електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод» шляхом автоматизованого вибору оптимальних потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій, а також розрахунком оптимальних потужностей батарей статичних конденсаторів та прийняття оптимальних рішень з компенсації реактивної потужності.

### *Практичне значення одержаних результатів*

В тому, що практична реалізація отриманих рішень дозволить оптимізувати електропостачання ДП «45 Експериментальний механічний завод»: забезпечити відповідність характеристик елементів системи електропостачання нормальним та аварійним електричним режимам, зменшити втрати електроенергії, та поліпшити роботу БСК за рахунок прийняття рішень з компенсації реактивної потужності із врахуванням реальних напруг в мережі.



1. Система електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод» розроблена з використанням сучасних проектних методик і відповідає вимогам ПУЕ.

2. Система електропостачання, що спроектована, забезпечує вимоги надійності електропостачання споживачів другої категорії.

3. Обрана схема електропостачання забезпечує надійне та безперебійне живлення електроенергією всіх електроприймачів підприємства, що підтверджено відповідними розрахунками.

4. В системі електропостачання ДП «45 експериментальний механічний завод» можуть мати місце випадки, коли рішення по управлінню БСК, отримане за їх номінальними параметрами, виявляється недопустимим. Тому рішення по визначенню керуючого впливу необхідно приймати виходячи з реальних потужностей ступенів БСК (потужностей, що відповідають реальній напрузі на БСК) та ефекту післядії ввімкненої потужності.

## Апробація результатів роботи

Результати роботи доповідались на обласних наукових конференціях в 2019 та 2020р., а тези доповідей опубліковані в матеріалах цих конференцій :

1. В. М. Сас, Л. Б. Терешкевич Дослідження умов доцільності врахування залежності потужності конденсаторної установки від напруги // XLVIII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2019) Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feem/all-feem-2019/paper/view/7280>

2. В. М. Сас Критерій ефективності для вирішення оптимізаційної задачі під'єднання однофазних електроприймачів до чотирипровідної мережі // XLIX Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2020) Режим доступу: <file:///C:/Users/MyPC/Downloads/10092-35972-1-PB.pdf>