

УДК 621.316

АНОТАЦІЯ

Івацко С.М. Оптимізація системи електропостачання Товариства з обмеженою відповідальністю «Вінницький агрегатний завод». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітня програма – «Електротехнічні системи електроспоживання». – Вінниця, ВНТУ, 2021 – 89 с.

Іл.: 17 .

Табл.: 19 .

Бібліогр.: 33 .

Запропонована оптимізація системи електропостачання шляхом вибору оптимальної потужності трансформаторів, перерізів ліній 10кВ як живильних, так і розподільних мереж підприємства. Вибрані оптимальні потужності конденсаторних установок, що дозволить зменшити втрати активної потужності на передавання.

Розроблено алгоритм внутрішнього симетрування групи ліній 0,4 кВ, які живлять несиметричні електроприймачі, при їх під'єднанні до збірних шин живлячої трансформаторної підстанції.

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

УДК 621.316

ANNOTATION

Ivatsko S.M. Optimization of the power supply system of the Limited Liability Company "Vinnytsia Aggregate Plant". Master's qualification work in the specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics", educational program - "Electrical Power Consumption Systems". - Vinnytsia, VNTU, 2021 - 89 p.

Ill .: 17

Table.:19

Bibliogr.:33

The optimization of the power supply system by choosing the optimal power of transformers, cross sections of 10 kV lines of both supply and distribution networks of the enterprise is offered. The optimal capacities of the capacitor units have been selected, which will reduce the loss of active transmission power.

An algorithm for internal balancing of a group of 0.4 kV lines fed by asymmetric electrical receivers when they are connected to the busbars of a power transformer substation has been developed.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	10
1.1 Історична довідка та відомості про технологічні процеси	10
1.2 Відомості про електричні навантаження	11
1.3 Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2.	
ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	
ТОВ «Вінницький агрегатний завод»	13
2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства	13
2.2 Розрахування оптимальної потужності цехових ТП	15
2.3 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах ТП	19
2.4 Розрахунок та вибір оптимального перерізу кабельних ліній, що живлять підприємство	20
2.5 Розрахунок координат оптимального місця розташування ТП підприємства	22
2.6 Оптимальна компенсація реактивних навантажень підприємства	26
2.7 Висновки до розділу 2	28
РОЗДІЛ 3.	
ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ В РОЗРОБЛЕНІЙ СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	29
3.1 Постановка задачі оптимального під'єднання ліній 0,4 кВ з несиметричним навантаженням до ТП в системі електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод»	29
3.2 Режим зворотної послідовності при зміні фазування ліній з однофазними навантаженнями	30
3.3 Режим нульової послідовності, що формується при фазуванні ліній з однофазними навантаженнями	35
3.4 Залежність складових втрат активної потужності в електричній мережі при несиметричних режимах від реалізованих фазувань ліній	35

3.5 Математична модель оптимального під'єднання групи чотирипровідних ліній з несиметричними навантаженнями до збірних шин ТП	37
3.6 Висновки до розділу 3	40
РОЗДІЛ 4.	
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ВИПУСКНОЇ РОБОТИ	42
4.1 Розрахунок чисельності обслуговуючого та ремонтного персоналу	42
4.2 Розрахунок витрат по заробітній платі	44
4.3 Розрахунок витрат підприємства на матеріали, що потрібні на всі види ремонтів та технічне обслуговування електрообладнання та електромереж	46
4.4 Визначення амортизаційних відрахувань та інших витрат	48
4.5 Розрахунок плати за електроенергію	49
4.6 Собівартість електроенергії	50
4.7 Висновки до розділу 4	50
РОЗДІЛ 5.	
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	51
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	51
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	53
5.2.1 Мікроклімат	53
5.2.2 Склад повітря робочої зони	55
5.2.3 Виробниче освітлення	55
5.2.4 Виробничий шум	57
5.2.5 Виробничі вібрації	59
5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ	68
Додаток А Технічне завдання до магістерської кваліфікаційної	

роботи	69
Додаток Б ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ	72
Додаток В ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДО РОБОТИ	74

ВСТУП

Актуальність теми. Агрегатний завод заснований в 1890 році як чавуноливарний завод “Молот”. Історія заводу починалась з виготовлення машини для цукрових та винокурених виробництв, чавунної та мідної арматури, саморізок, кінних приводів, відливок металічних, виробів для господарських та побутових потреб. Його матеріальну базу складали 5 металорізальних та 4 деревообробних станка, дві вагранки та 5 кувальних горнів. Кількість працюючих складала 68 чоловік.

З того часу неодноразово змінювалась номенклатура виробництва та технології, що використовувалися. Мало місце зростання потужностей заводу. Відповідно до цього відбувалась реконструкція та розвиток системи електропостачання.

З іншої сторони постійно удосконалювалось електрообладнання. Підвищувалась його економічність та надійність.

Теперішній стан системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» можна оцінити як такий, що потребує модернізації у відповідності до умов виробництва, що склались на підприємстві, та рівням розвитку проектних технологій і досконалості сучасної електротехнічної продукції.

Тому робота, в якій розробляться оптимальна система електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод», слід вважати актуальною.

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

Робота виконана на факультеті електроенергетики та електромеханіки ВНТУ у рамках наукових досліджень, які проводяться на кафедрі ЕСЕЕМ

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» шляхом використання інформаційних технологій для розрахунку оптимальних рішень, які стосуються оптимальної потужності трансформаторних підстанцій, оптимальних перерізів живильних та розподільних ліній підприємства, та розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок, що на відміну від діючої системи

електропостачання дасть можливість скоротити долю енерговитрат в собівартості продукції підприємства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі технічні 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.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод».

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

Наукова новизна одержаних результатів. Підвищена ефективність системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» шляхом оптимізації потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що реалізація отриманих рішень дозволить підвищити техніко-економічну ефективність системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод».

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням сучасних математичних методів.

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

Апробація результатів магістерської випускної роботи. Викладені в роботі результати апробацію на конференціях не проходили.

Публікації. Публікації по роботі відсутні.

Обсяг і структура магістерської випускної роботи. Робота складається із

вступу, 5 розділів, списку використаних джерел і додатків, загальний обсяг роботи 87 сторінок, з яких основний зміст викладений на 67 сторінках друкованого тексту, містить 17 рисунків, 19 таблиць, список використаних джерел із 33 найменувань.

РОЗДІЛ 1. ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Історична довідка та відомості про технологічні процеси

Завод тракторних агрегатів (в минулому чавуноливарний завод “Молот”) – одне з найстаріших підприємств міста Вінниці.

Завод “Молот” заснований в 1890 році. Після націоналізації в 1919 році йому була залишена така ж назва. В 1933 році завод був об’єднаний з машинотракторною майстернею і отримав назву Вінницького автотракторного заводу ім. Горького, а в 1956 році – Вінницький агрегатний завод.

Остання реконструкція підприємства відбулась в дев’ятій п’ятирічці, коли було введено в експлуатацію виробничий корпус площею 10 тис.м² і котельню потужністю 40 т/год.

Основна продукція заводу – шестеренні гідравлічні насоси НШ 6Т-1, НШ-10, НШ-46 для нагнітання робочої рідини в гідросистеми тракторів, сільськогосподарських, дорожніх та інших машин. Цими насосами комплектуються вироби Мінського та Барнаульського моторних заводів, Харківського “Серп і молот” та інше. Крім цього велика партія насосів щорічно поставляється підприємствам господарської техніки. Завод випускає також гідроциліндри:

– силовий – для керування навісною системою тракторних самохідних шасі Т-16М, ДВСТ-16;

– гідро циліндр варіатора – для роботи в гідросистемі управління варіатором мотовила самохідних комбайнів СК-4 і СК-5, “Нива”, СК-6, “Колос”. Вузли пневмогальмівної системи, що випускаються заводом, – регулятор тиску, головка з’єднувальна – призначені для комплектування тракторів Т-150 і МТЗ-80

1.2 Відомості про електричні навантаження

Генплан агрегатного заводу наведений на рис. 1.1.

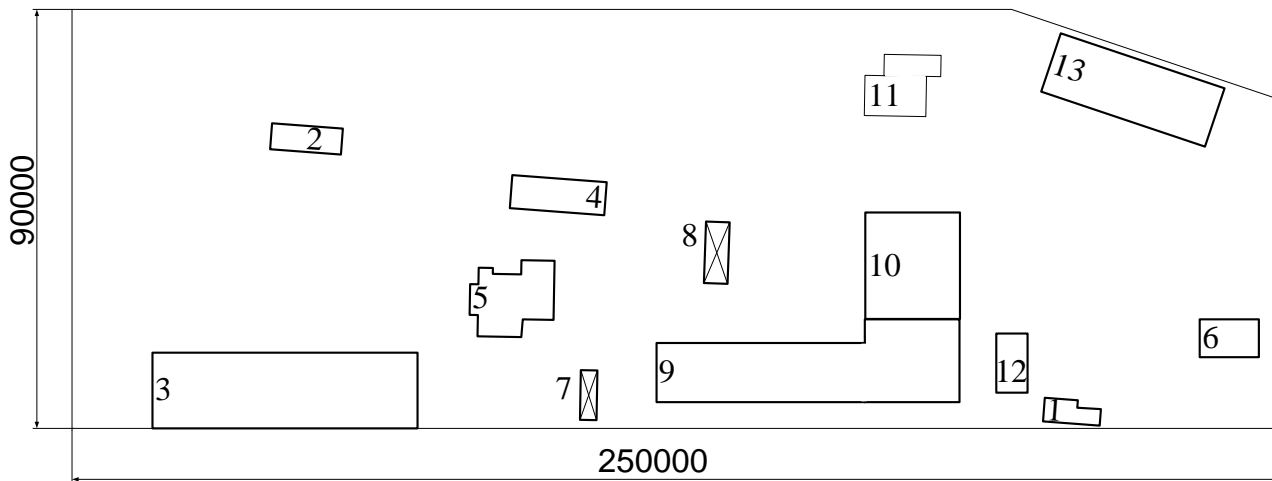


Рисунок 1.1 – Генплан ТОВ «Вінницький агрегатний завод»

Дані про електроспоживачів цехів підприємства наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Назва основних виробничих об'єктів агрегатного заводу

№	Назва об'єкту	Рн, кВт
1	Прохідна	3
2	Теплопункт	60
3	Цех нестандартного обладнання	270
4	Зварювальний цех	95
5	Покрасочний цех	70
6	Побутове приміщення	8
7	Мостовий кран	12
8	Мостовий кран	14
9	Корпус металообробки	800
10	Кузня	47
11	Побутове приміщення	7,5

12	Побутове приміщення	6
13	Склад	12
14	Субабонент	180
	Всього	1404,5

За надійністю електропостачання підприємство відносяться до споживачів II категорії. Всі електроприймачі працюють на електричній енергії напругою 380В промислової частоти 50 Гц.

Можливі джерела живлення:

Районна трансформаторна підстанція (РТП) «Північна», 110/10 кВ; $S_k = 75$ МВА; знаходиться на віддалі 2,1 км. від підприємства. Енергопостачальна компанія визначає для підприємства значення вхідної реактивної потужності – 100 квар.

1 Висновки до розділу 1

1. Діюча система електропостачання не відповідає електричним навантаженням, які змінились у зв'язку із зміною технології виробництва, номенклатури продукції, що виробляється на підприємстві, та її обсягів.

2. На підприємстві експлуатується морально та фізично застаріле електрообладнання, що позначається на техніко-економічних характеристиках роботи енергогосподарства підприємства.

РОЗДІЛ 2.
ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВ «Вінницький агрегатний завод»

2.1 Розрахунок електричних навантажень підприємства

Оптимізаційні рішення по системі електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» можна розраховувати у разі наявності розрахункових навантажень по окремим об'єктам підприємства та по підприємству в цілому. Для такого розрахунку виберемо метод коефіцієнта попиту [1, 3]. Цей метод використовується для розрахунку навантажень промислових об'єктів.

Методом коефіцієнта попиту розрахуємо освітлювальне та силове навантаження. Розрахунок середніх та розрахункових навантажень виконується за такими формулами.

Активне освітлювальне розрахункове навантаження і-того цеху:

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

де K_{noi} – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження для і-го цеху;

p_{niti} – питома густина освітлювального навантаження для і-того цеху, кВт/м²;

F_i – площа і-того цеху, м²;

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

Реактивне розрахункове навантаження освітлення і-того цеху:

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

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

Активне середнє навантаження і-того цеху:

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

де $P_{номи}$ – номінальна потужність і-того цеху, кВт.

K_{vi} – коефіцієнт використання для i -того цеху;

Реактивне середнє навантаження i -того цеху:

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

де $tg\varphi_i$ – коефіцієнт реактивної потужності i -того цеху.

Повне середнє навантаження i -того цеху:

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

Розрахункове активне навантаження i -того цеху

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

де K_{ni} – коефіцієнт попиту i -того цеху.

Розрахункове реактивне навантаження i -того цеху:

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

Розрахункове повне навантаження i -того цеху:

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

Розрахунковий струм i -того цеху:

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

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

Навантаження всіх цехів:

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

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

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

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

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

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

де K_o – коефіцієнт одночасності [3], (відношення розрахункової потужності на шинах 10 кВ до суми розрахункових потужностей споживачів, що під'єднані до шин 10 кВ РП);

N – кількість цехів.

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 цеху:

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

Питома густина навантаження підприємства в цілому:

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

Результати розрахунку навантажень підприємства містяться в електронній таблиці (рис. 2.1).

2.2 Розрахування оптимальної потужності цехових ТП

Розрахунок потужностей трансформаторів ТП виконується за:

– річними приведеними затратами на підстанцію, які є мірою ефективності вибору трансформаторів ТП [5];

– кількість стандартних потужностей трансформаторів ТП в системі електропостачання має бути не більше двох [4].

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
1																						
2							U= 0,38			Кo= 0,95												
3			Дані сили				Світло						Середні навантаження			Розрах. Нав.				Р		
4	№	Найменування цехів	Рн кВт	cos	tg	Кп	Кв	Площа м ²	Ксо	Рпит кВт/м ²	Кпра	tgφ0	Qмо квар	Рро кВт	Рс кВт	Qс квар	Sc кВА	Рр кВт	Qр квар	Sp кВА	Ip, А	кВА/м ²
5	1	Прохідна	3	0,7	1,02	0,6	0,2	20,00	0,80	0,016	1,20	0,48	0,15	0,31	0,91	0,76	1,18	2,11	1,98	2,89	4,40	0,1447
6	2	Теплопункт	60	0,65	1,17	0,8	0,4	30,00	0,85	0,015	1,10	0,48	0,20	0,42	24,42	28,26	37,35	48,42	56,32	74,27	112,85	2,4758
7	3	Цех нестандартного обладнання	270	0,8	0,75	0,9	0,5	1000,00	0,80	0,016	1,10	0,48	6,76	14,08	149,08	108,01	184,09	257,08	189,01	319,08	484,80	0,3191
8	4	Зварювальний цех	95	0,9	0,48	0,8	0,35	150,00	0,85	0,015	1,10	0,48	1,01	2,10	35,35	17,11	39,28	78,10	37,82	86,78	131,85	0,5785
9	5	Покрасочний цех	70	0,8	0,75	0,8	0,55	500,00	0,85	0,017	1,10	0,48	3,81	7,95	46,45	32,69	56,80	63,95	45,81	78,67	119,52	0,1573
10	6	Побутове приміщення	8	0,85	0,62	0,65	0,5	80,00	0,70	0,018	1,10	0,48	0,53	1,11	5,11	3,01	5,93	6,31	3,75	7,34	11,15	0,0918
11	7	Мостовий кран	12	0,8	0,75	0,7	0,45	20,00	0,90	0,017	1,10	0,48	0,16	0,34	5,74	4,21	7,12	8,74	6,46	10,87	16,51	0,5433
12	8	Мостовий кран	14	0,8	0,75	0,7	0,7	20,00	0,80	0,019	1,10	0,48	0,16	0,33	10,13	7,51	12,61	10,13	7,51	12,61	19,17	0,6307
13	9	Корпус металообробки	800	0,7	1,02	0,85	0,3	1500,00	0,85	0,017	1,10	0,48	11,44	23,84	263,84	256,29	367,83	703,84	705,18	996,33	1513,77	0,6642
14	10	Кузня	47	0,85	0,62	0,9	0,55	1000,00	0,85	0,014	1,10	0,48	6,28	13,09	38,94	22,30	44,88	55,39	32,50	64,22	97,57	0,0642
15	11	Побутове приміщення	7,5	0,8	0,75	0,7	0,45	500,00	0,90	0,019	1,10	0,48	4,51	9,41	12,78	7,05	14,59	14,66	8,45	16,92	25,70	0,0338
16	12	Побутове приміщення	6	0,8	0,75	0,7	0,2	200,00	0,85	0,024	1,20	0,48	2,35	4,90	6,10	3,25	6,91	9,10	5,50	10,63	16,15	0,0531
17	13	Склад	12	0,85	0,62	0,6	0,50	600,00	0,80	0,016	1,10	0,48	4,06	8,45	14,45	7,77	16,41	15,65	8,52	17,82	27,07	0,0297
18	14	Субабоненти	180	0,8	0,75	0,85	0,25	3000,00	0,80	0,012	1,10	0,48	15,21	31,68	76,68	48,96	90,98	184,68	129,96	225,82	343,10	0,0753
19	Всього по підприємству		1585				0,36	8620,00					56,64	118,00	689,98	547,19	880,61	1391,14	1179,67	1823,98	2771,25	0,2116

Рисунок 2.1 – Розрахунок навантажень підприємства

Вибір потужності ТП, які будуть прийняті до установки, виконується по питомій густині навантаження. Якщо питома густина навантаження до 0,2 кВА/м² [1], то вибираються трансформатори потужністю до 1000 кВА, а якщо густина навантаження 0,2-0,3 кВА/м², то потужністю 1600 кВА, а при густині навантаження більше 0,3 кВА/м² – 2500 кВА.

За результатами розрахунку питомої густини навантаження $\sum \rho_0 = 0,21$ кВА/м² згідно із [1] доцільно використовувати трансформатори 1600 кВА. У відповідності до отриманих результатів розрахунку навантажень для живлення підприємства вибрано двотрансформаторну підстанцію саме потужністю 1600 кВА. Створюємо табличну форму розрахунку потужності ТП (рис. 2.2).

Вибір оптимальної потужності ТП виконано за математичною моделлю де керованою змінною є потужність трансформаторів – S_T . Показником ефективності рішення ПЕР є річні приведені затрати. Вибір здійснюється із множини доступних значень, яка формується із стандартних потужностей трансформаторів S_T .

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

Математична модель має такі обмеження:

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

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

E_e – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

E_a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$S_{ТП\text{р}}$ – розрахункова потужність трансформаторної підстанції;

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

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

	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=	1823,98			
9	Середня потужність ТП, кВА										Sc=	880,61			
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	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*кн*St >=Sc	кпа*St>= кппа*Sp	*
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	536,4621	0,48	536,9421	301,1681	-	-	-	-	
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	327,6999	0,66	328,3599	184,1755	-	-	-	-	
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	201,4336	1,02	202,4536	113,5552	-	-	-	-	
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	111,7839	1,48	113,2639	63,52918	-	-	-	-	
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	61,33977	1,9	63,23977	35,47087	-	-	-	-	
22		630	8,5	1,31	159,53	21,69608	35,62443	2,62	38,24443	21,45111	-	+	-	-	
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	17,46624	4,2	21,66624	12,15249	-	+	-	-	
24	V	1600	18	2,8	234	31,824	11,69614	5,6	17,29614	9,70132	41,52532	1600	+	+	V
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	6,254578	7,7	13,95458	7,827053	44,23833	2500	+	+	
26															
27	Мінімальні затрати, грн										Зmin=	41,52532			
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА										St*=	1600			
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора										кз*=	0,569994			

Рисунок 2.3 – Вибір оптимальної потужності ТП

2.3 Розрахунок втрат потужності в трансформаторах ТП

Трансформація електричної енергії супроводжується активними втратами в трансформаторах. Ці втрати потрібно враховувати при виборі перерізу лінії живлення, оскільки по зазначеним лініям буде передаватись як потужність електроприймачів, так і потужність втрат в трансформаторах. Втрати потужності в трансформаторах можуть бути розраховані і результати цього розрахунку представлені на рис. 2.6.

Втрати активної потужності:

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

де n - кількість трансформаторів в ТП;

ΔP_{TP} - втрати активної потужності ТП, кВт;

ΔP_{xx} - потужність холостого ходу трансформатора, кВт;

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

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

S_p - повне розрахункове навантаження на ТП, кВА.

Втрати реактивної потужності[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 ΔQ_{TP} - втрати реактивно 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	$I_{xx},$ %	$U_{кз},$ %	$P_r,$ кВт	$Q_r,$ квар	$S_p,$ кВА	$\Delta P_{тр},$ кВт	$\Delta Q_{тр},$ квар	$\Delta S_{тр},$ кВА	$P,$ кВт	$Q,$ квар
3	18	1,3	5,5	1391,14	1179,67	1823,98	17,29614	98,78115	100,284	1408,436	1278,451

Рисунок 2.6 – Результати розрахунку втрат потужності в трансформаторах ТП

2.4 Розрахунок та вибір оптимального перерізу кабельних ліній, що живлять підприємство

ТОВ «Вінницький агрегатний завод» відноситься до 2-ої категорії споживачів за надійністю електропостачання [4]. Такі об'єкти повинні живитися двома лініями. Підприємство знаходиться в межах міста. Тому його живлення виконаємо двома кабельними лініями від районної трансформаторної підстанції 110/10 кВ. Щоб вибрати перерізи кабелів живлення виконаємо відповідні розрахунки.

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній напругою 10кВ проводимо за допомогою Excel. Для цього скористаємось електронною таблицею (рис. 2.7), де наведені результати розрахунків річних приведених затрати в зовнішню лінію живлення.

Вибір перерізу кабельної лінії 10 кВ виконано за оптимізаційною математичною моделлю, яка враховує всі вимоги нормативних документів до такого вибору [6].

Критеріальною функцією математичної моделі є функція, яка описує річні приведені затрати.

Множиною можливих рішень є множина всіх стандартних перерізів кабелів 10 кВ.

Керованою змінною – X , числове значення якої треба розрахувати, є переріз кабелів (мм^2).

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

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

$k_0(x)$ – питома вартість кабельних ліній, що залежить від перерізу і кількості ліній;

$B_{\text{в}}(x)$ - річна вартість втрат електричної енергії в кабельних лініях перерізом X ;

$I_{\text{л}}$ – струм однієї лінії;

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

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

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

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

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

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

$k_{\text{п}}$ – коефіцієнт прокладки, $k_{\text{п}}=1$ [3], що відповідає випадку, коли живлення здійснюється двокабельною лінією, в якій кабелі прокладені в різних траншеях (по одному кабелю в траншеї);

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

$k_{\text{на}}$ – максимальний допустимий коефіцієнт навантаження кабельних ліній в п.а. р., приймаємо $k_{\text{на}} - 1,25$ для найважчих умов перевантаження в п.а.р. при тривалості перевантаження 6 год. і $K_{\text{з}} = 0,6$ та при прокладці у землі.

$x_{\text{кз}}$ – 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], для кабелів 10кВ з АL жилами = 90).

Результати розрахунків оптимальних перерізів кабельних ліній 10 кВ наведені в таблиці 2.7.

2.5 Розрахунок координат оптимального місця розташування ТП підприємства

Від місця розташування трансформаторної підстанції будуть залежити втрати потужності в розподільній мережі 0,4 кВ підприємства [2, 5]. Таке місце називається центром електричних навантажень. В зв'язку з цим виникає потреба в розрахунку координат центра електричних навантажень (ЦЕН) і побудові картограми електричних навантажень. Результати такого розрахунку використовуються для обґрунтування оптимального (за критерієм мінімуму втрат активної потужності) місця розташування трансформаторної підстанції [2].

Картограма електричних навантажень являє собою схематичний генплан підприємства, в якому на площі окремих об'єктів наносяться їх навантаження (силове, освітлювальне) у вигляді кіл, радіус цих кіл пропорційний потужності та визначається за формулою [2]:

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

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 =	1408,436	
9	Реактивна розрахункова отужність споживача, кВАр															Q =	1278,451	
10	Розрахунковий струм окремого кабелю, А															Ip =	54,91	
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 =	2,235593	
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 =	30,42	
20																		
21	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =	1,2	
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі															Kпа =	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, %	dUпа, %	dP, кВт	K, т.грн	E*К, т.грн	Вс, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп*Iдоп >= Ip	Kпа*Kдоп n*Iдоп >= p	dUn <= dUдоп	dUпа <= dUпадоп	F >= Fкз
26	10	3,1	0,122	9,5381	65	1,13	1,81	28,04	9,54	1,34	15,73	-	-----	+	-	+	+	-
27	16	1,94	0,113	13,784	75	0,72	1,15	17,55	13,78	1,93	9,84	-	-----	+	-	+	+	-
28	25	1,24	0,099	19,854	90	0,47	0,75	11,22	19,85	2,78	6,29	-	-----	+	+	+	+	-
29	v 35	0,89	0,095	25,953	115	0,34	0,55	8,05	25,95	3,63	4,52	8,15	35	+	+	+	+	+
30	50	0,62	0,09	36,927	140	0,25	0,40	5,61	36,93	5,17	3,15	8,32	50	+	+	+	+	+
31	70	0,443	0,086	50,501	165	0,18	0,29	4,01	50,50	7,07	2,25	9,32	70	+	+	+	+	+
32	95	0,326	0,083	65,451	205	0,14	0,23	2,95	65,45	9,16	1,65	10,82	95	+	+	+	+	+
33	120	0,258	0,081	82,823	240	0,12	0,19	2,33	82,82	11,60	1,31	12,90	120	+	+	+	+	+
34	150	0,206	0,079	102,11	275	0,10	0,16	1,86	102,11	14,30	1,05	15,34	150	+	+	+	+	+
35	185	0,167	0,077	137,48	310	0,08	0,13	1,51	137,48	19,25	0,85	20,09	185	+	+	+	+	+
36	Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	8,15						
37	Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Хопт	35						

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

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

$\pi = 3,14$.

Освітлювальне навантаження на картограмі зображається у вигляді сектора кола і розраховується [4]:

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

де P_{po} - розрахункова потужність освітлювального навантаження, кВт;

P_{pi} – розрахункова потужність силового навантаження, кВт.

Вихідні дані та результати розрахунків картограми навантажень наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок картограми активних навантажень

№ за плано м	Найменування цехів	$P_{\text{p}\Sigma}$, кВт	P_{po} , кВт	R ,мм	$\alpha_{\text{осв}}$, град
1	Прохідна	2,11	0,31	2,2	52,9
2	Теплопункт	48,42	0,42	11,0	3,1
3	Цех нестандартного обладнання	257,1	14,08	25,5	19,7
4	Зварювальний цех	78,1	2,1	14,0	9,7
5	Покрасочний цех	63,95	7,95	12,7	44,8
6	Побутове приміщення	6,31	1,11	3,99	63,3
7	Мостовий кран	8,74	0,34	4,7	14,0
8	Мостовий кран	10,13	0,33	5,06	11,7
9	Корпус металобробки	703,8	23,84	42,5	12,2
10	Кузня	55,39	13,09	11,85	85,0
11	Побутове приміщення	14,66	9,41	6,1	231,0
12	Побутове приміщення	9,1	4,9	4,8	193,8
13	Склад	15,65	8,45	6,3	194,4

ЦЕН підприємства розраховується за такими 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 масштабі креслення формату А4. Початок відліку суміщено з нижнім лівим кутом креслення. Результати розрахунку зведені до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок ЦЕН підприємства

№ за планом	Найменування цехів	$P_{роз} + P_{ос}$ кВт	X, мм	Y, мм	$P_{роз} * X$, кВт*мм	$P_{роз} * Y$, кВт*мм
1	Прохідна	2,11	200	5	422	10,6
2	Теплопункт	48,42	45	57	2178,9	2759,9
3	Цех нестандартного обладнання	257,1	40	7	10284	1799,7
4	Зварювальний цех	78,1	100	45	7810	3514,5
5	Покрасочний цех	63,95	90	25	5755,5	1598,8
6	Побутове приміщення	6,31	235	17	1482,9	107,3
7	Мостовий кран	8,74	105	5	917,7	43,7
8	Мостовий кран	10,13	130	35	1316,9	354,6
9	Корпус металообробки	703,84	150	10	105576	7038,4
10	Кузня	55,39	170	30	9416,3	1661,7
11	Побутове приміщення	14,66	170	67	2492,2	982,2
12	Побутове приміщення	9,1	190	13	1729	118,3
13	Склад	15,65	215	68	3364,8	1064,2
Всього по підприємству		1206,5			152746,2	21053,9

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

$$X_0 = \frac{152746,2}{1206,5} = 126,6 \text{ мм};$$

$$Y_0 = \frac{21053,9}{1206,5} = 17,5 \text{ мм}.$$

Графічна ілюстрація проведених розрахунків ЦЕН наведена на рис. 2.11

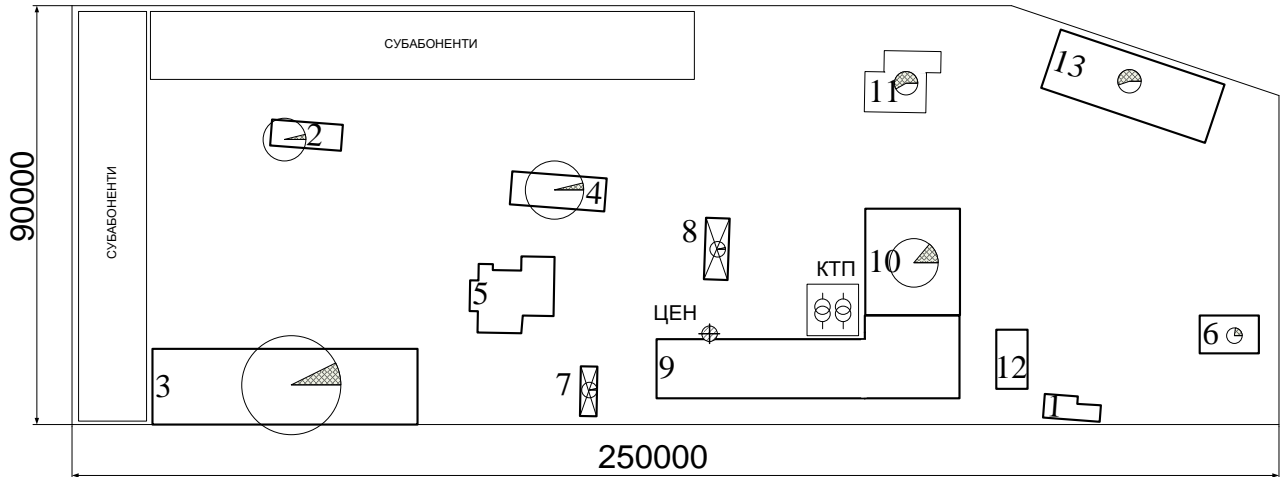


Рисунок 2.11– Результати розрахунку картограми електричних навантажень та оптимального місця розташування ТП підприємства

Розташувати ТП безпосередньо в ЦЕН недоцільно, тому що порушуються створюватись перешкоди для руху технологічного транспорту. Тому приймемо рішення з розташування ТП поблизу розрахованого ЦЕН, як це показано на рис. 2.11. Конструктивно ТП виконати кіоскового типу, а його розподільні пристрої 10 та 0,4 кВ слід комплектуватися електрообладнанням переважно Українського виробництва.

2.6 Оптимальна компенсація реактивних навантажень підприємства

Зменшити втрати електроенергії в кабельних лініях живлення, а також і в трансформаторах можна шляхом встановлення батарей статичних конденсаторів [9], які дозволяють розвантажити зазначені елементи електричної мережі від реактивної потужності. У випадку ТОВ «Вінницький агрегатний завод» компенсацію реактивної потужності доцільно виконати на

напрузі 0,4 кВ, встановивши конденсаторні батареї в розподільчому пристрої трансформаторної підстанції.

Рішення із визначення потужності компенсувальної установки слід приймати із врахуванням вимоги енергопостачальної компанії [13]. Такою вимогою є визначене для підприємства значення вхідної реактивної потужності в години максимальних навантажень енергосистеми – Q_e , яке становить 100 квар.

Розрахуємо значення загальної потужності БСК. Що мають бути установлені [1]:

$$Q_{KV} \geq Q_M - Q_e = 1278,5 - 100 = 1178,5 \text{квар} ,$$

де Q_M – максимальна реактивна потужність, яка споживається на підприємстві, враховуючи втрати потужності в трансформаторах ТП.

Виберемо стандартні БСК, віддавши перевагу керованим, і вважаючи, що до кожної із секції збірних шин має бути під'єднано БСК потужністю 590 квар.

Батарея статичних конденсаторів, що під'єднується до кожної секції збірних шин комплектується

ККУ-0,4-300/12-25-21УЗ потужністю 300 квар. Установка має 12 секцій керування по 25 квар.

ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ потужністю 240 квар Установка має 12 секцій керування по 20 квар.

ККУ-0,4-60/12-5-21УЗ потужністю 60 квар. Установка має по 12 секцій керування по 5 квар.

Наявність секцій керування дозволить здійснювати коригування загальної потужності БСК в залежності від реактивної потужності, що споживається на той або інший момент часу, забезпечуючи при цьому графік генерованої реактивної потужності зівпадаючим із графіком її споживання.

2.7 Висновки до розділу 2

1. В системі електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» доцільно встановити комплектну двотрансформаторну підстанцію кіоскового типу з трансформаторами потужністю 1600 кВА.

2. Економічно доцільним є використання кабельних ліній з такими перерізами:

– РТП «ПІВНІЧНА» – ТП підприємства 2ААБ(3×35);

3. Для зниження втрат активної потужності в лініях 10 кВ, які живлять підприємство, і в трансформаторах, а також для забезпечення вимог енергосистеми що до споживання реактивної потужності до кожної секції збірних шин 0,4 кВ ТП слід під'єднати комплектні ККУ:

– ККУ-0,4-300/12-25-21УЗ потужністю 300 квар. Установка має 12 секцій керування по 25 квар.

– ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ потужністю 240 квар Установка має 12 секцій керування по 20 квар.

– ККУ-0,4-60/12-5-21УЗ потужністю 60 квар. Установка має по 12 секцій керування по 5 квар.

РОЗДІЛ 3.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ РЕЖИМІВ В РОЗРОБЛЕНІЙ СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Постановка задачі оптимального під'єднання ліній 0,4 кВ з несиметричним навантаженням до ТП в системі електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод»

Серед ліній 0,4 кВ, які під'єднанні до трансформаторної підстанції в розробленій системі електропостачання, є лінії які живлять виключно несиметричне навантаження. Це лінії до торгових центрів: «Квартал», «АТБ – маркет», «Роксолана», «Євро секондхенд», «Roshen» та інші, які на правах субабонентів отримують електроенергію від ТП ТОВ «Вінницький агрегатний завод».

Однофазними електроприймачами створюються струми зворотної та нульової послідовностей (лінії живлення, до яких під'єднанні зазначені електроприймачі, трифазні чотирипровідні) [15,18]. До збірних шин трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ під'єднанні також лінії, що живлять трифазне навантаження підприємства. По цим лініям також будуть протікати струми нульової послідовності, а також доля струмів зворотної послідовності. Інша доля струмів зворотної послідовності будуть трансформуватися на сторону 10 кВ трансформатора ТП, рис. 3.1. За таких умов збитки, зумовлені струмами зворотної та нульової послідовностей, будуть залежити від під'єднання ліній які живлять однофазне навантаження до збірних шин ТП [12, 7].

Оскільки до збірних шин ТП ТОВ «Вінницький агрегатний завод» під'єднується декілька ліній, що живлять однофазне навантаження, то актуальною стає технічна задача внутрішнього симетрування чотирипровідних ліній у вузлі їх під'єднання.

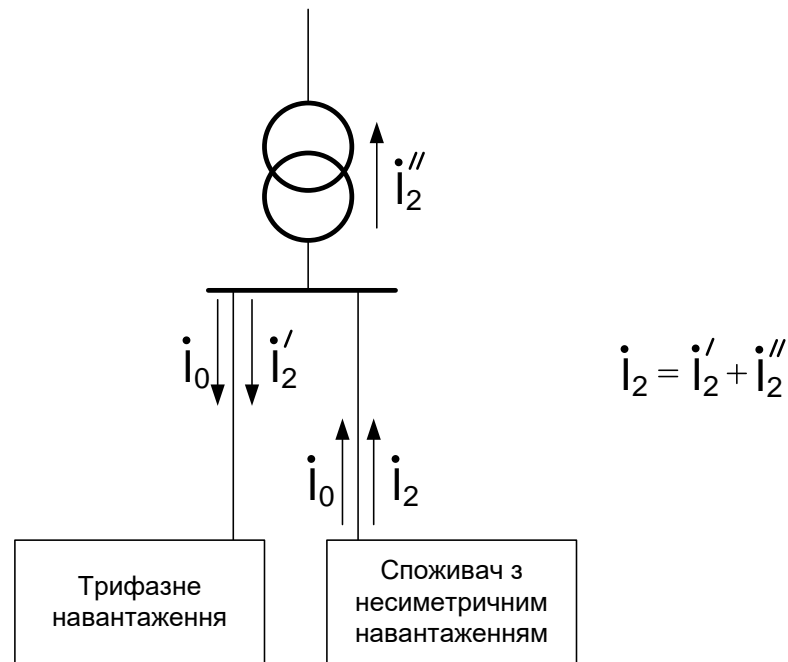


Рисунок 3.1 Спрощена схема під'єднання 0,4 кВ до збірних шин ТП

Практична реалізація такої задачі дозволить зменшити збитки на підприємстві, які є наслідком несиметрії електричного режиму [9]. По суті така задача не потребує додаткових капітальних витрат, але потребує проведення дослідження спрямованого на її математичну постановку.

3.2 Режим зворотної послідовності при зміні фазування ліній з однофазними навантаженнями

Розглянемо залежність параметрів несиметрії режиму по зворотній послідовності від зміни фазування чотирипровідної лінії з несиметричним навантаженням. Під фазуванням чотирипровідної лінії з несиметричним навантаженням розуміється конкретний варіант під'єднання її фазних жил до збірних шин ТП. Нехай до фази А живильної мережі під'єднаний фазний провідник із сумарним струмом \dot{I}_1 , до фази В – \dot{I}_2 і до фази С – \dot{I}_3 . Позначимо провідник із струмом \dot{I}_1 – 1, із струмом \dot{I}_2 – 2, із струмом, \dot{I}_3 – 3. На рисунок зображено саме такий варіант під'єднання лінії.



Рисунок 3.2 – Варіант під'єднання чотирипровідної лінії до збірних шин ТП

Цю саму лінію можна під'єднати по іншому. Наприклад, до фази А – провідник 3, до фази В – 1 і до фази С – 2. Загалом ми можемо отримати 3! варіантів під'єднання, тобто 6 варіантів (нейтральний провідник не враховуємо, оскільки немає інших варіантів його під'єднання до збірних шин). Всі ці варіанти занесені до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіанти під'єднання чотирипровідної лінії до живильної мережі

Номер варіанту	Фаза живильної мережі		
	А	В	С
1	1	2	3
2	3	1	2
3	2	3	1
4	2	1	3
5	3	2	1
6	1	3	2

З табл. 3.1 видно такі особливості: варіанти під'єднання 1-3 – порядок чергування фаз не змінюється (система “обертається” за годинниковою стрілкою), а варіанти 4-6 – фази змінені місцями.

Векторні діаграми до всіх можливих варіантів показані на рисунку . Вектор \dot{U}_A суміщується з додатнім напрямком дійсної осі комплексної площини. Крім того, припустимо, що система напруг симетрична, а відхилення її значення від номінального значення знаходиться в допустимих межах. Як відомо, майже всі однофазні електроприймачі мають індуктивн-активний характер роботи, і при під'єднанні до чотирипровідної електричної мережі, що враховано при побудові векторних діаграм, рисунку . Рисунок 2.3 свідчить, що електричний режим залежить від фазування ліній при їх під'єднанні до збірних шин. Для пошуку оптимального фазування таких ліній необхідно мати можливість аналітичного опису стану системи.

Користуючись методом симетричних складових розрахувати струм зворотної послідовності в лінії з несиметричним можна так:

$$\dot{I}_{II} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{I}_a + a^2 \cdot \dot{I}_b + a \cdot \dot{I}_c). \quad (3.1)$$

Як видно, для розрахунку необхідні такі дані:

- діючі значення струмів у фазних провідниках лінії;
- коефіцієнти потужності або кути зсуву фаз у провіднику кожної фази лінії, що отримуються шляхом вимірювання.

В залежності від того, до якої напруги під'єднано провідник лінії з несиметричним навантаженням, струм у ньому буде змінюватись так:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= I_1 \cdot e^{-j\varphi_1}, & \text{при під'єднанні до } U_A; \\ \dot{I}_2 &= I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)}, & \text{при під'єднанні до } U_B; \\ \dot{I}_3 &= I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}, & \text{при під'єднанні до } U_C. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Знайти струми зворотної послідовності для кожного можливого варіанту під'єднання лінії можна так:

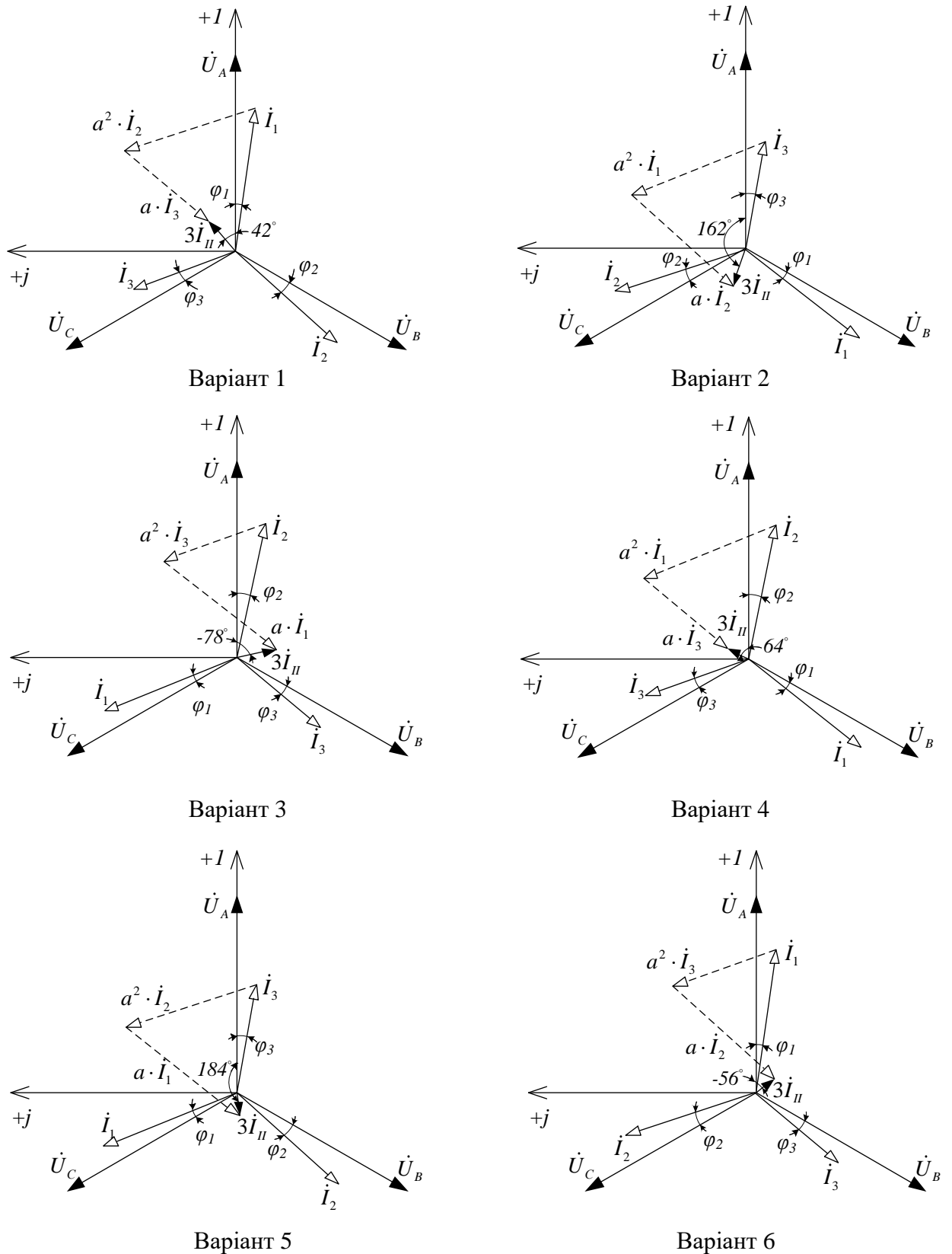


Рисунок 3.4 – Формування струму зворотної послідовності для всіх можливих варіантів під'єднання чотирипровідної лінії до живильної мережі

$$\dot{I}_{II} = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (\dot{I}_1 + a^2 \cdot \dot{I}_2 + a \cdot \dot{I}_3), & \text{вар. 1;} \\ (\dot{I}_3 + a^2 \cdot \dot{I}_1 + a \cdot \dot{I}_2), & \text{вар. 2;} \\ (\dot{I}_2 + a^2 \cdot \dot{I}_3 + a \cdot \dot{I}_1), & \text{вар. 3;} \\ (\dot{I}_2 + a^2 \cdot \dot{I}_1 + a \cdot \dot{I}_3), & \text{вар. 4;} \\ (\dot{I}_3 + a^2 \cdot \dot{I}_2 + a \cdot \dot{I}_1), & \text{вар. 5;} \\ (\dot{I}_1 + a^2 \cdot \dot{I}_3 + a \cdot \dot{I}_2), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.3)$$

З урахуванням (3.2) вираз (3.3) перепишеться:

$$\dot{I}_{II} = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + a^2 \cdot I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + a \cdot I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a^2 \cdot I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + a \cdot I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a^2 \cdot I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + a \cdot I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + a^2 \cdot I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)} + a \cdot I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + a^2 \cdot I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)} + a \cdot I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + a^2 \cdot I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)} + a \cdot I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.4)$$

Підставивши в отриманий вираз оператора повороту, остаточно отримаємо:

$$\dot{I}_{II} = \frac{1}{3} \cdot \begin{cases} (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)}), & \text{вар. 1;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)}), & \text{вар. 2;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)}), & \text{вар. 3;} \\ (I_2 \cdot e^{-j\varphi_2} + I_1 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_1)} + I_3 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_3)}), & \text{вар. 4;} \\ (I_3 \cdot e^{-j\varphi_3} + I_2 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_2)} + I_1 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_1)}), & \text{вар. 5;} \\ (I_1 \cdot e^{-j\varphi_1} + I_3 \cdot e^{j(120^\circ - \varphi_3)} + I_2 \cdot e^{-j(120^\circ + \varphi_2)}), & \text{вар. 6.} \end{cases} \quad (3.5)$$

Таким чином, встановлені функціональні залежності (3.5), дозволяють аналітично розрахувати \dot{I}_{II} в залежності від рішення про під'єднання несиметричного навантаження. Тобто є можливість оцінити вплив на струм зворотної послідовності в лінії живлення в залежності від варіанту під'єднання чотирипровідної лінії з несиметричним навантаженням до збірних шин.

3.3 Режим нульової послідовності, що формується при фазуванні ліній з однофазними навантаженнями

В результаті під'єднання несиметричного навантаження до чотирипровідної електричної мережі, крім струмів зворотної послідовності також створюються струми нульової послідовності.

Аналогічні дослідження режиму нульової послідовності дозволяють аналітично розраховувати \dot{I}_0 в залежності від прийнятого варіанта під'єднання лінії з несиметричним навантаженням.

Порівнюючи отримані формули, можна встановити, що при будь-якому варіанті під'єднання лінії з несиметричним навантаженням для симетричних складових струму має місце $\dot{I}_{II_i} \neq \dot{I}_{0_i}$, тобто $\dot{I}_{II\Sigma}$ та $\dot{I}_{0\Sigma}$ будуть різними. Можливі випадки, коли фазування i -ої лінії буде зменшувати $\dot{I}_{II\Sigma}$, а $\dot{I}_{0\Sigma}$, навпаки, збільшувати. Такий висновок погоджується із результатами отриманими для випадку симетрування режиму за допомогою симетрувального пристрою [7, 15]. Тому такі параметри, як $\dot{I}_{II\Sigma}$ та $\dot{I}_{0\Sigma}$, критерієм ефективності при внутрішньому симетрування чотирипровідних ліній з несиметричним навантаженням прийняті бути не можуть

3.4 Залежність складових втрат активної потужності в електричній мережі при несиметричних режимах від реалізованих фазувань ліній

Передача електричної енергії супроводжується втратами, які фіксуються приладами обліку, що в кінцевому результаті з дорожчають електричну енергію для споживача. Однією з причин виникнення додаткових втрат активної потужності є погіршення якості електроенергії, зокрема, виникнення несиметричного режиму в розподільчій електричній мережі. Додаткові втрати активної енергії, які викликані несиметрією трифазної системи напруг в

мережі, в ряді випадків можуть бути суттєвими, що підтверджуються проведеними дослідженнями [10, 14, 18].

Можна виділити дві складові додаткових втрат активної потужності в розподільчій мережі, що зумовлені несиметрією.

Перша складова – це втрати активної потужності, від протікання по лініях електропередач струмів $\dot{I}_{II\Sigma}$, які знаходяться за формулою:

$$\Delta P_{II} = 3 \cdot I_{II}^2 \cdot r_{II}, \quad (3.11)$$

де r_{II} – активна складова опору струму зворотної послідовності в лінії.

Друга складова – це втрати активної потужності від протікання електричній мережі струмів $\dot{I}_{0\Sigma}$. Якщо переріз фазного і нульового провідників однаковий, то ці втрати знаходяться так:

$$\Delta P_0 = 12 \cdot I_0^2 \cdot r_0, \quad (3.12)$$

де r_0 – активна складова опору струму нульової послідовності.

Відповідно, сумарні втрати активної потужності, викликані несиметрією режиму (струмами $\dot{I}_{II\Sigma}$ і $\dot{I}_{0\Sigma}$), будуть дорівнювати:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{II} + \Delta P_0, \quad (3.13)$$

де ΔP_{Σ} – сумарні втрати активної потужності, зумовлені несиметрією режиму.

Таким чином, сумарні додаткові втрати активної потужності в лініях електропередач від несиметрії режиму прямо пропорційні квадратам струмів $\dot{I}_{II\Sigma}$ та $\dot{I}_{0\Sigma}$, які в свою чергу визначаються реалізованим фазуванням лінії і можуть змінюватися в залежності від його зміни.

Втрати активної потужності ΔP_{Σ} , можуть бути критерієм ефективності в задачі оптимального під'єднання ліній з несиметричним навантаженням до збірних шин ТП [7]. Складові функції (3.13) є суперечливими, оскільки при реалізації деякого технічного рішення одна складова може збільшуватись, друга – зменшуватись, і навпаки [12]. Вибраний критерій слід розглядати, як середньозважений критерій із суперечливими складовими

3.5 Математична модель оптимального під'єднання групи чотирипровідних ліній з несиметричними навантаженнями до збірних шин ТП

Вхідна інформація для розробленої математичної моделі – математичні очікування векторів струмів зворотної $M[\dot{I}_H]$ та нульової $M[\dot{I}_0]$ послідовностей наведена в табл.3.1. Дана інформація отримується шляхом статистичної обробки результатів безпосередніх вимірювань фазних струмів I_A, I_B, I_C та коефіцієнтів потужності по фазах $\cos \varphi_A, \cos \varphi_B, \cos \varphi_C$.

Таблиця 3.2 – Вхідна інформація для розрахунку оптимального під'єднання ліній з несиметричним навантаження

№ приєднання (n)	Варіант під'єднання до мережі (i)	$M[\dot{I}_H]$	$M[\dot{I}_0]$
n	1	$M[\dot{I}_{H_1}]$	$M[\dot{I}_{0_1}]$
	2	$M[\dot{I}_{H_2}]$	$M[\dot{I}_{0_2}]$
	3	$M[\dot{I}_{H_3}]$	$M[\dot{I}_{0_3}]$
	4	$M[\dot{I}_{H_4}]$	$M[\dot{I}_{0_4}]$
	5	$M[\dot{I}_{H_5}]$	$M[\dot{I}_{0_5}]$
	6	$M[\dot{I}_{H_6}]$	$M[\dot{I}_{0_6}]$

Керовані змінні математичної моделі – $x_m, m=1 \div 6 \cdot N$ можуть набувати значення 1 або 0. Якщо $x_m=1$, то лінія m має під'єднуватись до збірних шин ТП за варіантом, що встановлений в табл.3.2. А якщо 0, то навпаки за даним варіантом не під'єднуватись.

Змінні формують вектор керування:

$$X^T = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_{6n-5} \ x_{6n-4} \ x_{6n-3} \ x_{6n-2} \ x_{6n-1} \ x_{6n} \ \dots \ x_{6N})$$

де T – індекс транспонування.

Між номером, варіантом під'єднання і позначенням керованої змінної встановлена однозначна відповідність. Це дає можливість зробити таке узагальнення в позначенні змінної – $x_{6n-(6-i)}$.

Додаткові втрати активної потужності можна оцінювати за математичними очікуваннями $M(\Delta P_{II\Sigma})$ та $M(\Delta P_{0\Sigma})$. Тому за критерій ефективності, який дозволяє приймати технічне рішення з оптимального під'єднання ліній з несиметричним навантаженням з врахуванням зміни навантаження в часі, можна прийняти математичне очікування втрат потужності – $M(\Delta P_{\Sigma})$.

Математична модель, за якою можна вирішувати задачу оптимального під'єднання групи ліній з однофазним навантаженням до збірних шин ТП, має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} M(\Delta P_{\Sigma}) = (3 \cdot |\sum_{l=1}^{6N} M(I_{II_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{2\Sigma} + 12 \cdot (|\sum_{l=1}^{6N} M(I_{0_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{0\Sigma} \rightarrow \min \\ \sum_{l=1}^6 x_l = 1; \\ \sum_{l=7}^{12} x_l = 1; \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{l=(6n-5)}^{6n} x_l = 1; \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{l=(6N-5)}^{6N} x_l = 1; \\ x_l \in \{1,0\}, \quad l = 1, 2 \dots 6N. \end{array} \right.$$

Для опису математичної моделі використані [20, 21]:

- для цільової функції: нескаларна функція дійсного змінного другого порядку;
- для опису обмежень: лінійні функції.

Всі змінні математичної моделі $x_{6n-(6-i)}$ – цілочислові. Тому математична модель відноситься до моделей нескаларної оптимізації (за характером аналітичних співвідношень математичної моделі), а за видом змінних до цілковито числових а розв'язки за цією моделлю можна знайти за алгоритмом:



Рисунок 0.5 – Алгоритм розрахунку оптимального варіанту під'єднання ліній з несиметричним навантаженням до шин ТП

Розроблений алгоритм, рис. 3.2, реалізує суцільний перебір варіантів під'єднання групи ліній з однофазними навантаженнями для визначення оптимального, оскільки класичних методів вирішення зазначених задач в класичній математиці не існує [20, 21].

Ефективність виконаних досліджень можна оцінити за результатами тестових розрахунків, що демонструються на, рис. 3.5, де побудовано графіки сумарних втрат активної потужності від несиметрії режиму для одного із можливих та оптимального варіанту під'єднання ліній.

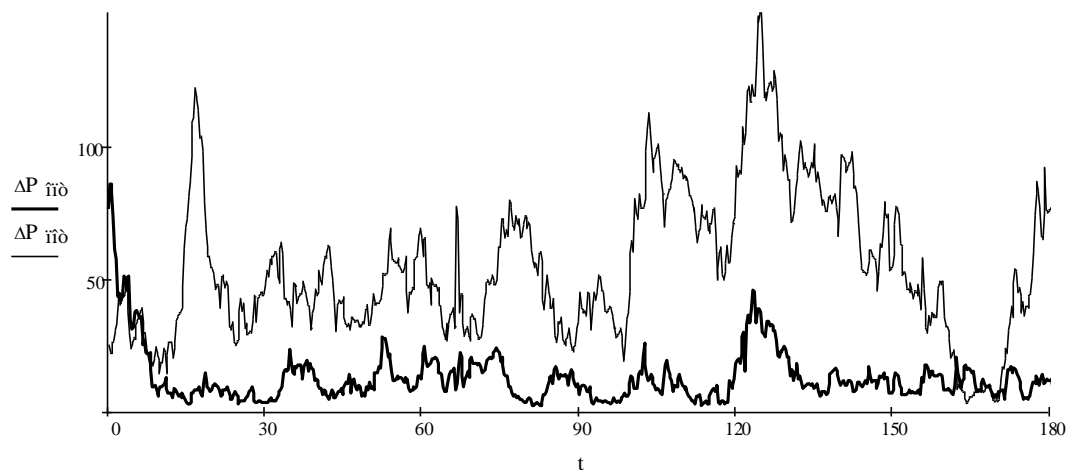


Рисунок 0.1 – Графіки зміни в часі сумарних втрат від несиметрії режиму до і після впровадження результатів дослідження

З графіків, **рисунок 0.1**, можна зробити висновок, що сумарні додаткові втрати активної потужності від несиметрії режиму можна значно зменшити, впровадивши результати дослідження

3.6 Висновки до розділу 3

1. Додаткові втрати активної потужності, зумовлені групою ліній з несиметричними навантаженнями, що під'єднанні до збірних шин ТП, залежать від їх фазування.

2. Технічні рішення про оптимальне фазування групи ліній з несиметричним навантаженням можуть бути розраховані за розробленим алгоритмом у відповідності до математичної моделі.

3. Практичне використання виконаних наукових робіт є ефективним, що підтверджується тестовими розрахунками.

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' ($T_{\text{пр}}$, $T_{\text{огл}}$) визначається :

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

де Π – число ремонтів даного виду за рік, що приходить на одиницю обладнання;

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

h – кількість обладнання даного виду.

Розрахунок планової трудомісткості технічного обслуговування виконується :

$$T_{\text{то}} = 12 * t_{\text{норм}} * k_{\text{ср}} \quad (4.2)$$

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

$k_{\text{ср}}$ – коефіцієнт складності ремонту, 1/міс.

Розрахунок виконаємо у табличній формі за [11].

Потреба в ремонтному персоналі визначається за формулою:

$$N_{\text{ГР}} = \frac{T_{\text{ГР}}}{\Phi_{\text{д}} * K_{\text{вн}}}, \quad (4.3)$$

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

Потреба в ремонтному персоналі визначається за формулою:

$$N_{\text{ГР}} = \frac{T_{\text{ГР}}}{\Phi_{\text{д}} * K_{\text{вн}}}, \quad (4.3)$$

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

Таблиця 4.1 – Розрахунок планової трудомісткості технічного обслуговування [29]

Обладнання та мережі	Поточний ремонт				Огляди			Технічне обслуговування, люд*год,
	Кількість	Число 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*35)	4,2	1	15	63	-	-	-	180
2. Силовий трансформатор ТМ1600/10	2	0,33	60	39,6	12	4,5	108	147,6
3.Батарея конденсаторів ККУ-0,4-300/12-25-21УЗ	2	1	20	40	12	8,4	201,6	204,2
4. Батарея конденсаторів ККУ-0,4-240/12-20-21УЗ	2	1	20	40	12	8,4	201,6	102,1
5. Батарея конденсаторів ККУ-0,4-60/12-5-21УЗ	2	1	20	40	12	8,4	201,6	102,1
Всього				222,6			739,8	736

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

$K_{вн} = 1,05$ – для експлуатаційного,

$$N_{пп} = \frac{222,6}{1850 * 1,1} = 0,11 \text{ людини.}$$

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:

$$N_{обсл} = \frac{T_{огл} + T_{то}}{\Phi_{д} * K_{вн}} = \frac{739,8 + 736}{1850 * 1,05} = 0,76 \text{ людини.} \quad (4.4)$$

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

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

де $\beta_{в}$ - коефіцієнт використання річного номінального фонду робочого часу, $\beta_{в} = 0,9$;

$t_{ч.е}$ - годинна тарифна ставка, що відповідає середньому тарифному розряду експлуатаційних робочих, що дорівнює 36 грн/год.

$$\Phi_{п} = 2 * 0,9 * 36 * 1850 = 119880 \text{ грн}$$

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

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

де $t_{\text{ч.в}}$ - годинна тарифна ставка відрядників, що відповідає середньому розряду ремонтних робіт, $t_{\text{г.в}} = 40,5$ грн/год.

$$\Phi_B = 2 * 690,2 * 40,5 = 55906,2 \text{ грн.}$$

Фонд основної заробітної плати:

- на експлуатацію та обслуговування

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

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

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

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

$$\Phi_{\text{о.п}} = 119880 (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 151048,8 \text{ грн.}$$

- на поточний ремонт електрообладнання та мереж

$$\Phi_{\text{о.в}} = \Phi_B (1 + 0,05 + 0,01 + \alpha) = 55906,2 (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 70441,8 \text{ грн.}$$

Величина сумарного фонду заробітної плати з врахуванням додаткової заробітної плати:

$$\Phi_{\text{об.п}} = 151048,8 \cdot (1 + 0,075) = 162377,4 \text{ грн/рік.}$$

$$\Phi_{\text{об.в}} = 70441,8 \cdot (1 + 0,075) = 75724,9 \text{ грн/рік.}$$

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:

$$C_{зп.т.о} = \Phi_{об.п} (1+0,04+0,015+0,32+) = 217585,7 \text{ грн};$$

$$C_{зп.п.р.} = \Phi_{об.в} (1+0,04+0,015+0,32+) = 101471,3 \text{ грн}.$$

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
Силові трансформатори			
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
ВСЬОГО			23077
Кабельна лінія			
Сталь сортова, кг	166	2	332
Електроди, кг	77,2	0,1	7,7
ВСЬОГО			340

Вартість матеріалів для поточного ремонту:

$$C_{M \text{ ПР.}} = 0.01 \sum_{i=1}^f T_{n.p.i} \sum_{j=1}^g m_{np.i \dots j}, \quad (4.7)$$

де f - кількість груп обладнання та мереж;

$T_{n.p.i}$ - трудомісткість поточного ремонту для i групи;

g - число різновидності матеріалів;

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

Π_{mj} - ціна одиниці матеріалу, грн.

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

Планова вартість матеріалів для технічного обслуговування

$$C_{M.T.O.} = 0.01 \sum_{i=1}^f T_{T.O.i} \sum_{j=1}^g m_{np.j} \cdot \Pi_{mj}, \quad (4.8)$$

де $T_{T.O.i}$ - трудомісткість технічного обслуговування для всієї i -ої групи.

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

Витрати на обслуговування

$$C_{\text{обс}} = C_{\text{зп.т.о}} + C_{\text{м.т.о}} = 217585,7 + 68932 = 286517,1 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт

$$C_{\text{п.р.}} = C_{\text{зп.п.р}} + C_{\text{м.п.р}} = 101471,3 + 9819 = 1112903 \text{ грн}$$

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.

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

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

$$\begin{aligned} C_i &= 0,25(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a) = \\ &= 0,25(286517,1 + 1112903 + 793000) = 548105 \text{ грн} \end{aligned}$$

Таблиця 4.3 – Кошторис різних поточних витрат

Найменування статей	Втрати, грн	% до підсумку
Затрати на експлуатацію електро-обладнання та мереж	286517,1	10,45
Поточний ремонт	1112903	40,6
Амортизаційні відрахування	793000	28,9
Інші витрати	548105	20,05
ВСЬОГО	2740525	

4.5 Розрахунок плати за електроенергію

Величина корисно спожитої електроенергії на підприємстві за рік

$$\mathcal{E}_a = P_p T_m = 1391,14 * 3000 = 4173000 \text{ кВт*год.} \quad (4.10)$$

Розрахуємо величину втрат електроенергії в лініях 10 кВ.

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

Втрати потужності в трансформаторах

$$\Delta P_T = 17,3 \text{ кВт}$$

Розрахуємо величину втрат електроенергії в трансформаторах.

$$\Delta \mathcal{E}_T = \Delta P_{mp} * \tau = 17,3 * 2000 * 10^{-3} = 34600 \text{ кВт*год.} \quad (4.11)$$

Загальна потреба підприємства в електроенергії

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_a + \Delta \mathcal{E}_л + \Delta \mathcal{E}_T = 4173000 + 7497 + 34600 = 8386867 \text{ кВт*год.}$$

Плата за електроенергію, що спожита підприємством. Тариф на електроенергію становить 2,75 грн/кВт*год [14].

$$\Pi = C_0 * \Xi = 2,75 * 10^{-3} * 4215097 = 11591516 \text{ тис грн.} \quad (4.12)$$

4.6 Собівартість електроенергії

Собівартість однієї корисно спожитої кіловат години електроенергії розраховується за формулою:

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

де $C_{\text{сум}}$ - величина сумарних витрат підприємства на електроенергію, тис. грн/рік;

Ξ_a – річна кількість корисної споживаної підприємством електроенергії, тобто без обліку втрат у лініях і трансформаторах, кВт·год/рік.

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_n = 11591516 * 10^3 + 2740,525 * 10^3 = 11594256,525 * 10^3 \text{ грн};$$

$$S = \frac{11594256,525 * 100}{4173000} = 2,78 \text{ (грн/кВт·год)}.$$

4.7 Висновки до розділу 4

1. За умови, що тариф на електроенергію 2,75 грн/кВт*год [14], собівартість електроенергії для ТОВ «Вінницький агрегатний завод» становить 2,78 грн/кВт*год

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В кваліфікаційній випускній роботі розробляється система електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод». В одному із виробничих підрозділів підприємства – покрасочному цеху при виконанні робіт згідно [30] ГОСТ 12.0.002-80 існують такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори у відповідності з прийнятою класифікацією [33] (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 дільницях 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 кондиціювання 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/м³.

В умовах, які розглядаються, забруднювачем повітря може бути нетоксичний пил. Його ГДК відповідно дорівнює: максимальна разова 0,5 мг/м³; середньодобова 0,15 мг/м³.

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, Φ , лк
Цех термопластавтомат	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, Φ , лк
Корпус металовиробів	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

		115	109	109	109	109	109	109	109
--	--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Примітка: у чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, 10^{-2} 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 відгороджувальними 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 чол/м² не обмежується.

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

Стіни				Колони	Драбинні і площадкі	Плити, інші несучі конструкції	Елементи покриття	
Несучі	Самонесучі	Зовнішні і несучі	Перегородки				Плити	Балки, арки, рами
$\frac{1}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{5}$	$\frac{0.25}{0}$

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. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини Евакуаційного виходу (дверей)
---------------------------------------	----------------------	--------------------------------	---

8000	Г	IV	260
------	---	----	-----

На території цеху термопластавтоматів 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 2м х 2м – 1шт., гаки – 3 шт, лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт.

Ящик для піску має місткість 3м³ 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 містах 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.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Ефективність роботи діючої системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» може бути підвищеною
2. В системі електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» доцільно встановити комплектну двотрансформаторну підстанцію з трансформаторами потужністю 1600 кВА.
3. Для зниження втрат активної потужності в живильних лініях 10 кВ, також і в трансформаторах, а також для забезпечення вимог енергосистеми що до споживання реактивної потужності до шин 0,4 кВ ТП слід під'єднати комплектні БСК серії ККУ-0,4 загальною потужністю 1200 квар.
4. Якість електроенергії в розподільних мережах підприємства може бути поліпшеною шляхом внутрішнього симетрування ліній 0,4 кВ, що живлять несиметричні електроприймачі субабонентів, при їх під'єднанні до збірних шин ТП, і тим самим зменшити несиметрію напругою.
5. Для практичної реалізації задачі внутрішнього симетрування ліній з несиметричними електроприймачами може бути використаним розроблений алгоритм.
6. За умови, що тариф на електроенергію 2,75 грн/кВт*год, собівартість електроенергії для ТОВ «Вінницький агрегатний завод» становить 2,78 грн/кВт*год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Навчальний посібник з дисципліни «Електропостачання». – Вінниця: ВДТУ. 2002. – 140с.
2. Основы построения промышленных сетей / Г.М. Каялов, С.А. Каждан, И.Н. Ковалев, Э.Г. Куренный – М.: Энергия, 1978. – 320с.
3. Справочник по проектированию электроснабжения / Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 576 с.
4. Правила устройств электроустановок. М., Энергия, 1986.
5. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання Київ Освіта України , 2013. – 286 с
6. ГОСТ 13109-97.Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения
7. Терешкевич Л. Б., Бандура І. О., Хоменко О. О. Метод розрахунку внутрішнього симетрування однофазних електроприймачів у вузлах чотирипровідної мережі. [Наукові нотатки](#). - 2019. - Вип. 65. - С. 249-253. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_40.
8. Рогальський Б.С. Проблеми енергозбереження. Зниження втрат електроенергії в електричних мережах: [навчальний посібник] - Вінниця: ВДТУ, 1996. – 112 с.
9. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов – .М.: ЭААС, 2009. – 456 с. – ISBN 978-5-93196-958-9.
10. Аввакумов В.Г. Методы не скалярной оптимизации и их приложения – К.:Вища школа, 1990. – 188 с.

11. <http://energylogia.com/business/jekonomija-jelektrojenergii/tarify-na-jelektrojenergiju-dlja-predprijatij-ukrainy-2017.html> Тарифы на электроэнергию для предприятий Украины — анализ ситуации на 2019 год
12. Милосердов В.О., Терешкевич Л.Б. Алгоритмізація оптимізаційних задач енергетики. – Вінниця.: ВНТУ, 2004. – 120 с.
13. Шишкин С.А. Компенсация реактивной мощности однофазных нагрузок низковольтных систем электроснабжения Силовая электроника. – 2007. – №3. – С. 122 – 125.
14. Кузнецов В.Г., Григорьев А.С., Данилюк В.Б. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях – К.: Наукова думка, 1992. – 240 с. – ISBN 5-12-002018-6.
15. Терешкевич Л.Б., Цибульський М.І. Математичні методи керування несиметрією напруг в системах електропостачання Технічна електродинаміка. – 2006. – №2. – С. 64–67.
16. Кравченко О.А. Электромагнитная совместимость: как решать проблему на государственном уровне Электропанорама. – 2003. – №4. – С. 38 – 40.
17. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
18. Жежеленко И.В., Рабинович М.А., Божко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях – К.: Техніка, 1981. – 160 с.
19. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Офіційний вісник України. – 2002. – №6. – С. 25 – 31.
20. Саати Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы – М.: Мир, 1973. – 302 с.
21. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций. – Вильнюс, 2007. – 912 с. – ISBN 0-13-032374-8.

22. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Ч.1. – М.: Мир, 1986. – 347 с.
23. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Ч.2 – М.: Мир, 1986. – 318 с.
24. Калихман И.Л., Войтенко М.А. Динамическое программирование в примерах и задачах – М.: Высшая школа, 1979. – 125 с.
25. Економіка підприємства. / Під ред. С.Ф. Покропивного.– К.: КНЕУ, 2001. – 526 с. – ISBN 966-574-148-9.
26. Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі. ГКД 340.000.002 – 97. [Затв. наказом Міненерго України від 20.01.97]. – К.: Міністерство палива та енергетики України, 1997. – 90 с.
27. Гительсон С.М. Экономические решения при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий – М.: Энергия, 1971. – 256 с.
28. Терешкевич Л.Б., Демов О.Д., Шулле Ю.А. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентами спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Вінниця, ВНТУ, 2018, – 42 с.
29. Синягин Н.Н. и др. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергии. - М.: Энергия, 1978.
30. ГОСТ 12.0.00374. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
31. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
32. ОНТП 24-86. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. МВД. СССР. - М., 1986.
33. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

ДОДАТКИ

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

“ ” _____ 2021 р.ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри ЕСЕМд.т.н., проф. Бурбело М.Й.

“ ” _____ 2021 р.**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ВІННИЦЬКИЙ АГРЕГАТНИЙ ЗАВОД»08-17.МКР.003.05.100 ТЗ

Науковий керівник:

проф. Терешкевич Л.Б. _____

(підпис)

Виконавець: студент гр. ЕСЕ - 19м

Івацько С.М. _____

(підпис)

Вінниця 2021 р.

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № _____ від _____ 2021 р.

Дата початку роботи 1 січня 2021 р.

Дата закінчення роботи 10 червня 2021 р.

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

а) *мета* – Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний 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 та розробка алгоритму оптимального під'єднання ліній з несиметричним навантаженням до шин ТП.

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

в) *вихідні дані для виконання МКР:*

генплан підприємства (об'єкта); план цеха (об'єкта, дільниці, приміщення) із розташуванням обладнання; відомості про особливості технологічних процесів та навколишнього середовища (внутрішнього та зовнішнього); 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	Примітка
1	Відомості про підприємство та характеристики електроприймачів.	15.03.2021	
2	Оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод»	31.04.2021	
3	Оптимізація електричних режимів в розробленій системі електропостачання	25.05.2021	
4	Економічна частина роботи	30.05.2021	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.06.2021	
6	Написання пояснювальної записки	10.06.2021	

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

Дані про електроспоживачів цехів підприємства наведені в таблиці Б.1.

План підприємства, зображено на рис. Б.1.

Таблиця Б.1 – Дані про електроспоживачів підприємства

№	Назва об'єкту	Рн, кВт
1	Прохідна	3
2	Теплопункт	60
3	Цех нестандартного обладнання	270
4	Зварювальний цех	95
5	Покрасочний цех	70
6	Побутове приміщення	8
7	Мостовий кран	12
8	Мостовий кран	14
9	Корпус металообробки	800
10	Кузня	47
11	Побутове приміщення	7,5
12	Побутове приміщення	6
13	Склад	12
14	Субабонент	180
	Всього	1404,5

План підприємства зображено на рис. Б.2.

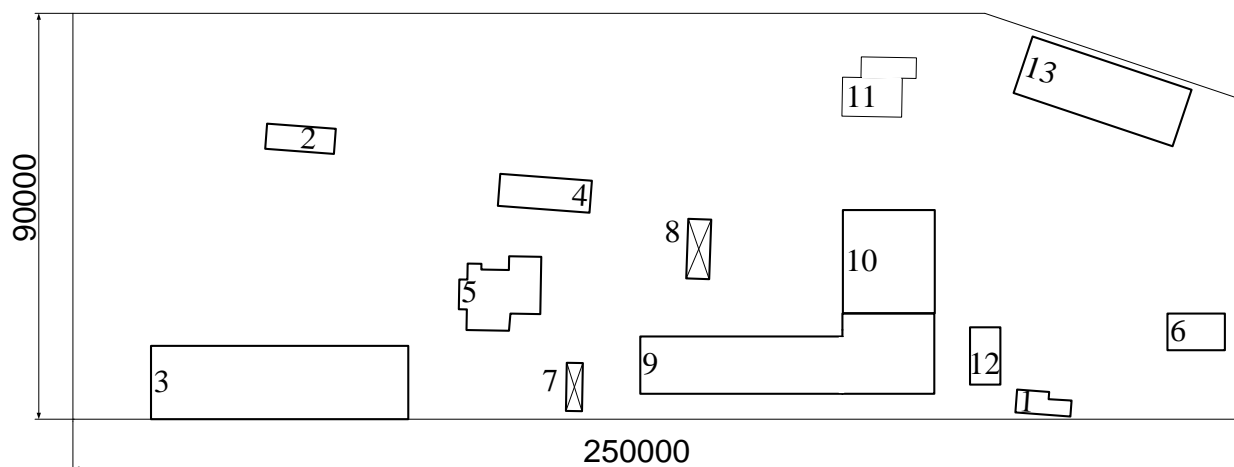


Рисунок Б.1 – План підприємства

Можливі джерела живлення:

Районна трансформаторна підстанція (РТП) «Північна», 110/10 кВ; $S_k = 75$ МВА; знаходиться на віддалі 2,1 км. від підприємства. Енергопостачальна компанія визначає для підприємства значення вхідної реактивної потужності – 100 квар.

Додаток В

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДО РОБОТИ

Івацько Сергій Миколайович

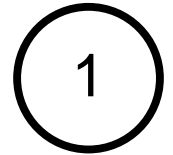
Оптимізація системи електропостачання
Товариства з обмеженою
відповідальністю «Вінницький
агрегатний завод»

Магістерська кваліфікаційна робота

Керівник:

Терешкевич Леонід Борисович

Кандидат технічних наук, професор



Актуальність

Теперішній стан системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» можна оцінити як такий, що потребує модернізації у відповідності до умов виробництва, що склались на підприємстві, та рівням розвитку проектних технологій і досконалості сучасної електротехнічної продукції.

Тому робота, в якій розробляться оптимальна система електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод», слід вважати актуальною.

Об'єкт дослідження – система електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод».

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

МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оптимізація системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» шляхом використання інформаційних технологій для розрахунку оптимальних рішень, які стосуються оптимальної потужності трансформаторних підстанцій, оптимальних перерізів живильних та розподільних ліній підприємства, та розрахувань оптимальних потужностей конденсаторних установок, що на відміну від діючої системи електропостачання дасть можливість скоротити долю енерговитрат в собівартості продукції підприємства.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі технічні 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.

Визначення оптимальної потужності ТП підприємства

Математична модель

$$\left\{ \begin{array}{l} Z(S_T) = (E_e + E_a) \cdot k_{TP}(S_T, k_T) + \left[\Delta P_{XX}(S_T) \cdot k_T + \Delta P_{K3}(S_T) \cdot \frac{S_{TP}^2}{S_T^2 \cdot k_T} \right] \cdot t \cdot \tau \rightarrow \min_{S_T \in S_{CT}} \\ S_T \cdot k_T \cdot k_H \geq S_{TPCM} \\ k_T > 1 \Rightarrow S_T \cdot k_{TPa} \geq S_{TPP} \cdot k_{HTPa}, \\ S_T \in S_{CT} \end{array} \right.$$

Показник ефективності вибору трансформаторів ТП - річні приведені затрати на підстанцію

Керована змінна - потужність трансформаторів – S_T

Множина доступних значень – всі стандартні потужності трансформаторів S_T .

Визначення оптимальної кількості та 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=	1823,98		
9	Середня потужність ТП, кВА											Sc=	880,61		
10	Кількість трансформаторів											кт=	2		
11	Допустимий коефіцієнт навантаження в н. режимі											Kn=			
12	Дані післяаварійного режиму														
13	Допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі											Kпа =			
14	Доля навантаження в післяаварійному режимі											Kнпа =			
15															
16	*	Ст кВА	ΔРкз кВт	ΔРхх кВт	Ктп, тис.грн.	Е*К, тис.грн.	ΔРзм кВт	ΔРпс кВт	ΔР кВт	Вв, тис.грн.	З, тис.грн.				
17		63	1,28	0,24	95,78	13,02608	536,4621	0,48	536,9421	301,1681					
18		100	1,97	0,33	101,71	13,83256	327,6999	0,66	328,3599	184,1755					
19		160	3,1	0,51	109,45	14,8852	201,4336	1,02	202,4536	113,5552					
20		250	4,2	0,74	119,46	16,24656	111,7839	1,48	113,2639	63,52918					
21		400	5,9	0,95	143,38	19,49968	61,33977	1,9	63,23977	35,47087					
22		630	8,5	1,31	159,53	21,69608	35,62443	2,62	38,24443	21,45111					
23		1000	10,5	2,1	188,23	25,59928	17,46624	4,2	21,66624	12,15249					
24	V	1600	18	2,8	234	31,824	11,69614	5,6	17,29614	9,70132	41,52532				
25		2500	23,5	3,85	267,73	36,41128	6,254578	7,7	13,95458	7,827053	44,23833				
26															
27	Мінімальні затрати, грн											Зmin=	41,52532		
28	Оптимальна потужність трансформатора, кВА											Ст*=	1600		
29	Оптимальний коефіцієнт завантаження трансформатора											кз*=	0,569994		

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

Математична модель

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

Критерій ефективності: річні приведені затрати в зовнішню лінію живлення 10 кВ

Керована змінна: переріз кабельних ліній (мм²).

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

Розрахунок оптимального перерізу кабельних ліній

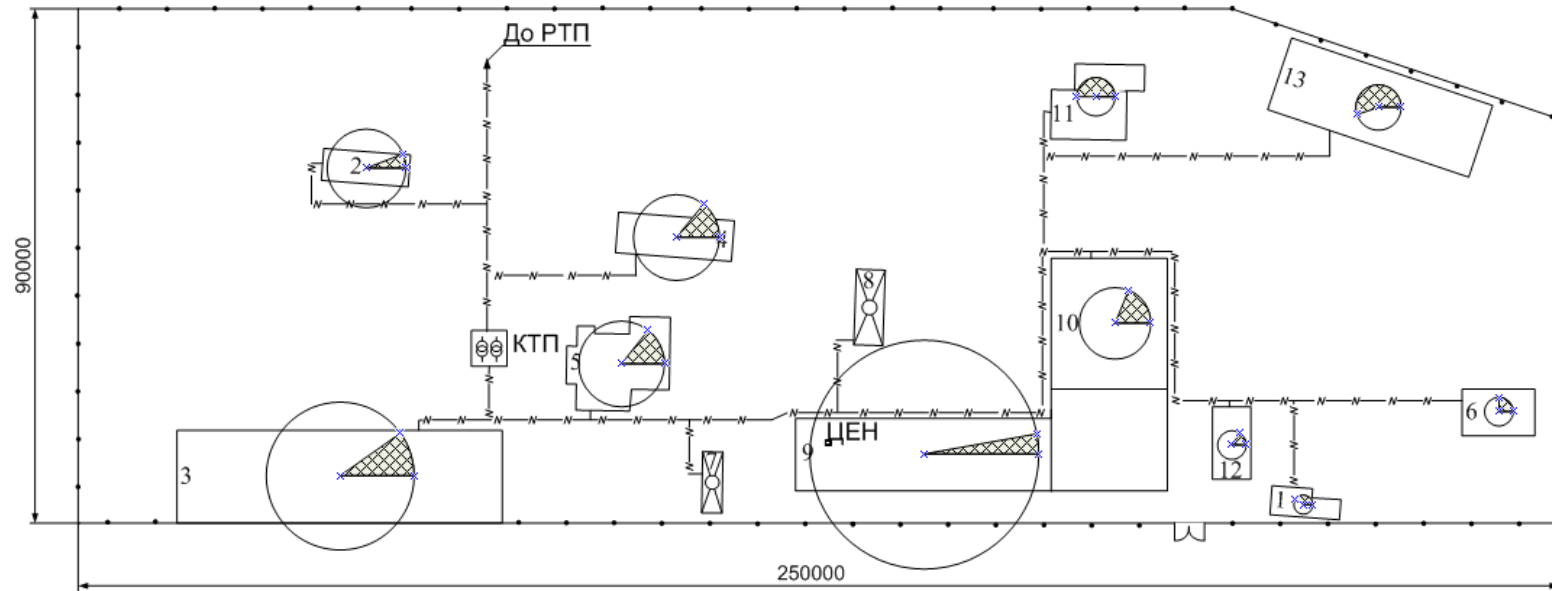
6

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
2	Вибір оптимального перерізу КЛ1																		
3	Економічні характеристики																		
4	Питома вартість втрат, грн/кВт																	Bo=	560,895
5	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень																	Ee=	0,1
6	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію																	Ea=	0,04
7	Дані нормального режиму																		
8	Напруга, кВ																	U =	10
9	Активна розрахункова потужність споживача, кВт																	P =	1408,436
10	Реактивна розрахункова опухність споживача, кВАр																	Q =	1278,451
11	Розрахунковий струм окремого кабелю, А																	Ip =	54,91
12	Коефіцієнт допустимого навантаження																	Kдоп =	0,92
13	Допустима втрата напруги в КЛ, %																	dUдоп =	5
14	Кількість кабелів																	k =	2
15	Довжина лінії, км																	L =	0,5
16	Дані аварійного режиму																		
17	Струм КЗ на початку лінії, кА																	Iкз =	5593
18	Приведений час КЗ, с																		
19	Тепловий коефіцієнт C, (A*s^(1/2))/мм^2																		
20	Мінімальний переріз лінії за умовою КЗ, мм^2																		
21	Максимально допустимий коефіцієнт навантаження в післяаварійному режимі																		
22	Доля навантаження в післяаварійному режимі																		
23	Допустима втрата напруги в КЛ, %																		
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	Вс, т.грн	З, т.грн	X	Kдоп				
26		10	3,1	0,122	9,5381	65	1,13	1,81	28,04	9,54	1,34	15,73	-	-----	+				
27		16	1,94	0,113	13,784	75	0,72	1,15	17,55	13,78	1,93	9,84	-	-----	+				
28		25	1,24	0,099	19,854	90	0,47	0,75	11,22	19,85	2,78	6,29	-	-----	+				
29		35	0,89	0,095	25,953	115	0,34	0,55	8,05	25,95	3,63	4,52	8,15	35	+				
30		50	0,62	0,09	36,927	140	0,25	0,40	5,61	36,93	5,17	3,15	8,32	50	+				
31		70	0,443	0,086	50,501	165	0,18	0,29	4,01	50,50	7,07	2,25	9,32	70	+				
32		95	0,326	0,083	65,451	205	0,14	0,23	2,95	65,45	9,16	1,65	10,82	95	+				
33		120	0,258	0,081	82,823	240	0,12	0,19	2,33	82,82	11,60	1,31	12,90	120	+				
34		150	0,206	0,079	102,11	275	0,10	0,16	1,86	102,11	14,30	1,05	15,34	150	+				
35		185	0,167	0,077	137,48	310	0,08	0,13	1,51	137,48	19,25	0,85	20,09	185	+				
36		Мінімальні затрати, тис.грн										Змін	8,15						
37		Оптимальний переріз КЛ, мм^2										Конт	35						

	F, мм^2	Kдоп
5		
5	10	
7	16	
8	25	
9	35	+
0	50	+
1	70	+
2	95	+
3	120	+
4	150	+
5	185	+

7

План підприємства з електричними мережами



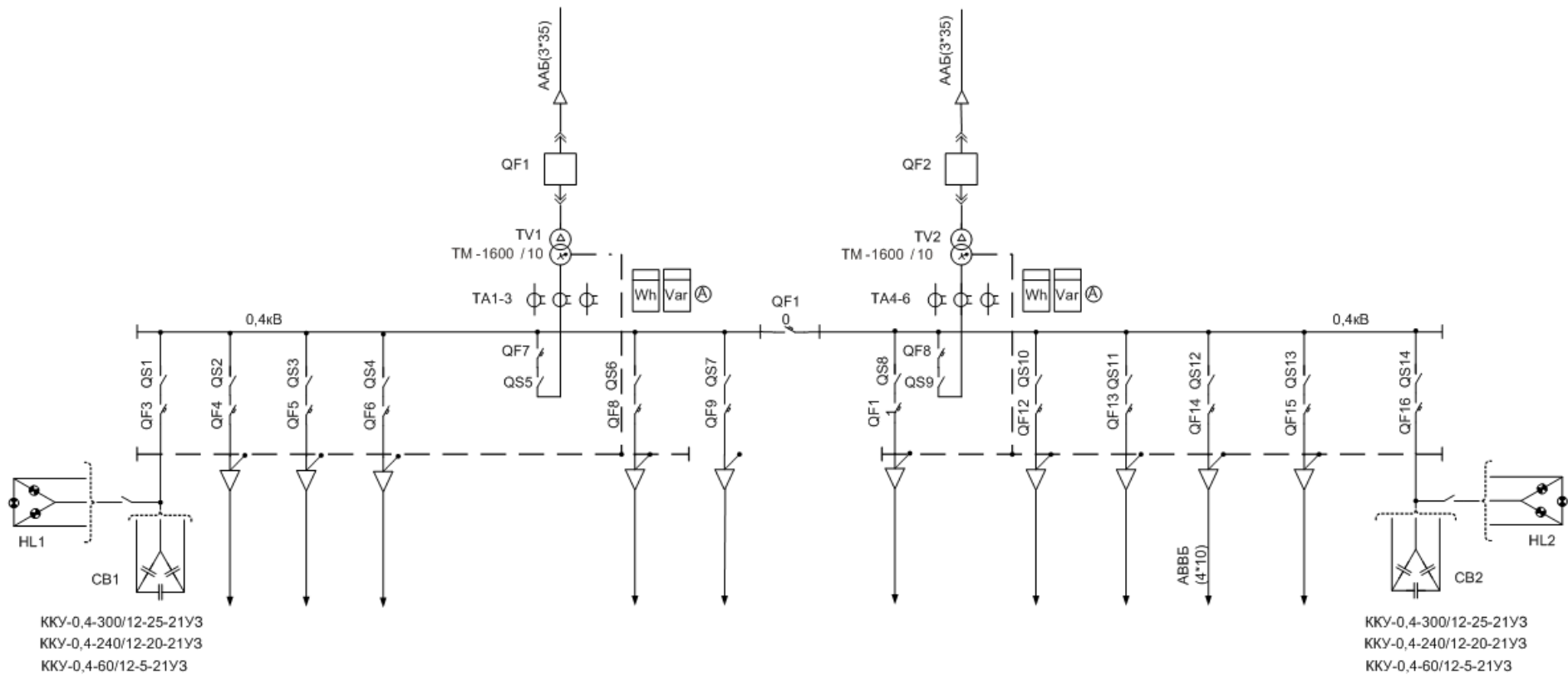
Умовні позначення

—N—N— - Кабельна траншея

■ ЦЕН - Центр електричних навантажень

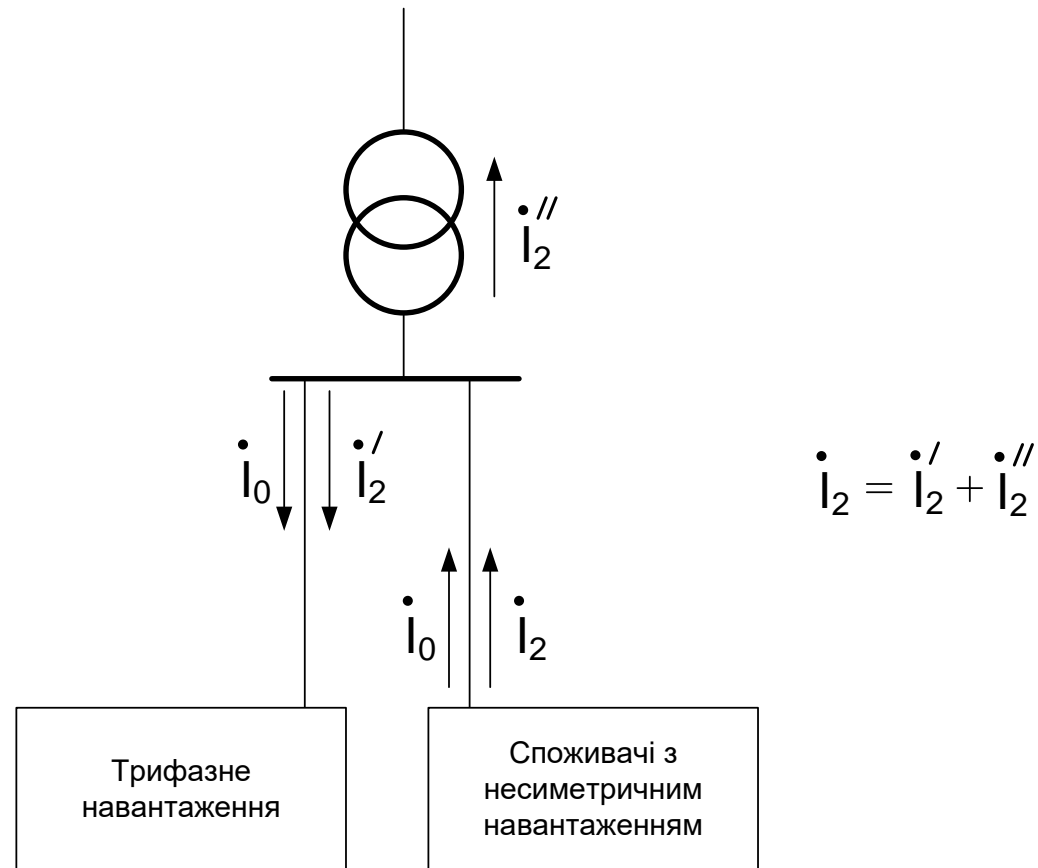
1	Прохідна
2	Теплопункт
3	Цех нестандартного обладнання
4	Зварювальний цех
5	Покрасочний цех
6	Побутове приміщення
7	Мостовий кран
8	Мостовий кран
9	Корпус металообробки
10	Кузня
11	Побутове приміщення
12	Побутове приміщення
13	Склад

Однолінійна схема електропостачання

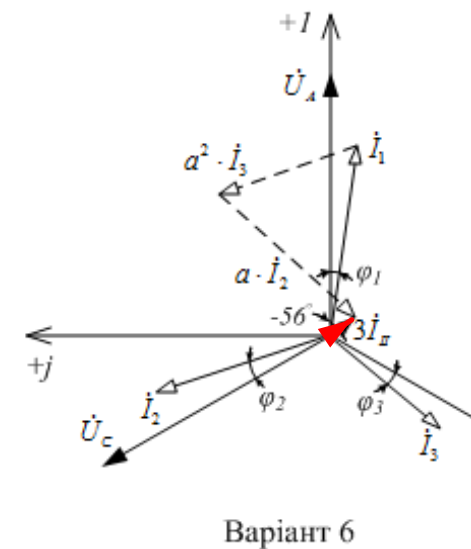
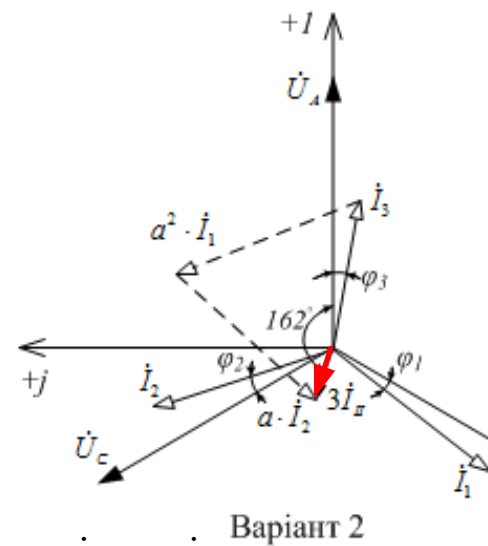
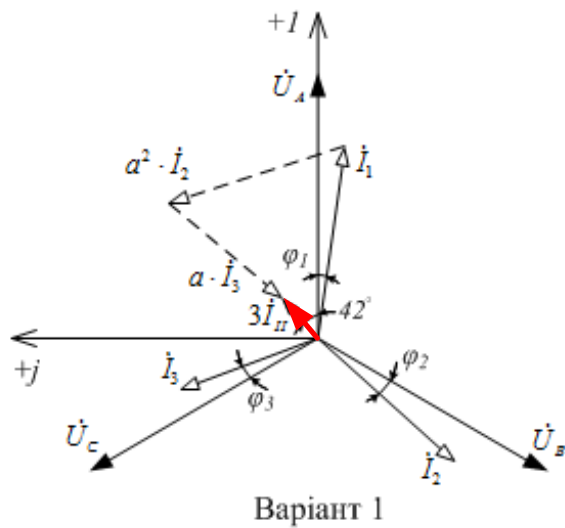


**Постановка задачі оптимального під'єднання ліній 0,4 кВ з
несиметричним навантаженням до ТП в системі електропостачання
ТОВ «Вінницький агрегатний завод»**

9



Формування струму зворотної послідовності для всіх можливих варіантів під'єднання чотирипровідної лінії до живильної мережі



Встановлені функціональні залежності, які дозволяють аналітично розрахувати в залежності від рішення про під'єднання несиметричного навантаження

Критерій ефективності задачі оптимального під'єднання ліній з несиметричним навантаженням до збірних шин ТП

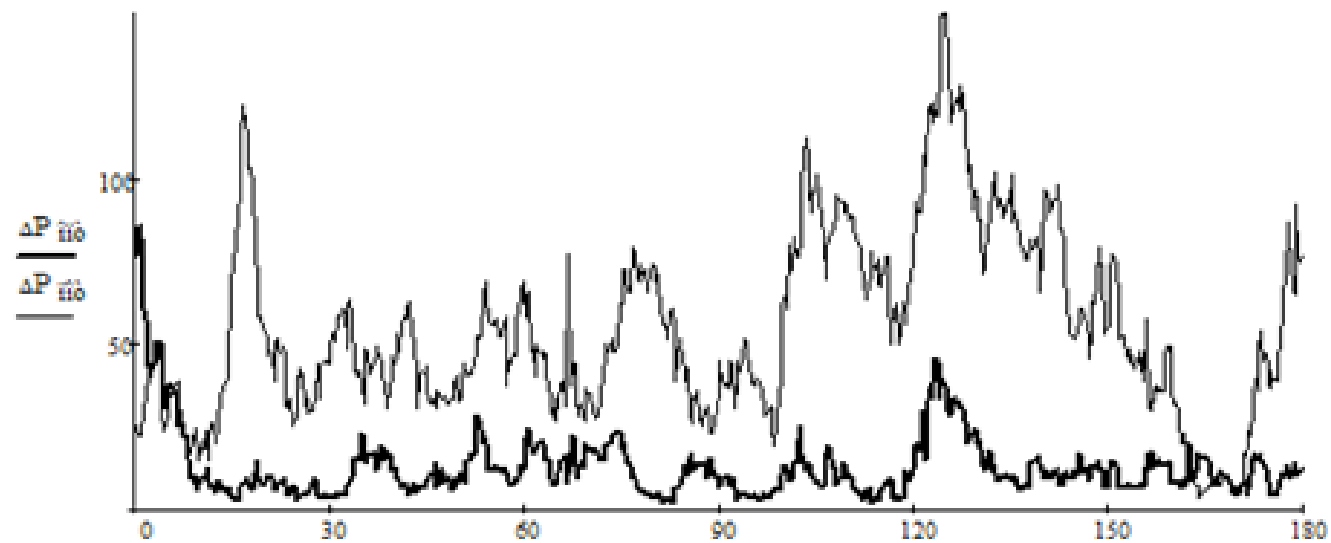
$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{II} + \Delta P_0,$$

Сумарні додаткові втрати активної потужності в лініях електропередач від несиметрії режиму ΔP_{Σ} прямо пропорційні квадратам струмів $\dot{I}_{II\Sigma}$ та $\dot{I}_{0\Sigma}$, які в свою чергу визначаються реалізованим фазуванням лінії і можуть змінюватися в залежності від його зміни.

Математична модель оптимального під'єднання групи чотирипровідних ліній з несиметричними навантаженнями до збірних шин ТП

$$\left\{ \begin{array}{l}
 M(\Delta P_{\Sigma}) = (3 \cdot |\sum_{l=1}^{6N} M(I_{II_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{2\Sigma} + 12 \cdot (|\sum_{l=1}^{6N} M(I_{0_l}) \cdot x_l|)^2 \cdot r_{0\Sigma} \rightarrow \min \\
 \sum_{l=1}^6 x_l = 1; \\
 \sum_{l=7}^{12} x_l = 1; \\
 \dots \\
 \sum_{l=(6n-5)}^{6n} x_l = 1; \\
 \dots \\
 \sum_{l=(6N-5)}^{6N} x_l = 1; \\
 x_l \in \{1, 0\}, \quad l = 1, 2, \dots, 6N.
 \end{array} \right.$$

Ефективність виконаних досліджень



Графіки зміни в часі сумарних втрат від несиметрії режиму до і після впровадження результатів дослідження

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

15

1. Ефективність роботи діючої системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» може бути підвищеною
2. В системі електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» доцільно встановити комплектну двотрансформаторну підстанцію з трансформаторами потужністю 1600 кВА
3. Для зниження втрат активної потужності в живильних лініях 10 кВ, також і в трансформаторах, а також для забезпечення вимог енергосистеми що до споживання реактивної потужності до шин 0,4 кВ ТП слід під'єднати комплектні БСК серії ККУ-0,4 загальною потужністю 1200 квар.
4. Якість електроенергії в розподільних мережах підприємства може бути поліпшеною шляхом внутрішнього симетрування ліній 0,4 кВ, що живлять несиметричні електроприймачі субабонентів, при їх під'єднанні до збірних шин ТП, і тим самим зменшити несиметрію напругою
5. Для практичної реалізації задачі внутрішнього симетрування ліній з несиметричними електроприймачами може бути використаним розроблений алгоритм.

Наукова новизна одержаних результатів. Підвищена ефективність системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод» шляхом оптимізації потужностей трансформаторів цехових ТП, перерізів кабельних ліній та місця установки трансформаторних підстанцій.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що реалізація отриманих рішень дозволить підвищити техніко-економічну ефективність системи електропостачання ТОВ «Вінницький агрегатний завод».